

# MAGYAR

# GEOFIZIKA

5-6



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE FOLYÓIRATA  
BUDAPEST, 1988. XXIX. ÉVFOLYAM, 5-6. SZÁM

## TARTALOMJEGYZÉK

Közgyűlési beszámoló .....	161
<i>Baki György — Bodoky Tamás — Czifra Ferenc — Sun Xueshi — Wang You Yu — Zhao Yuxuan — Yuan Guesen:</i> Magyar bányageofizika Kínában.....	168
<i>Elek István:</i> Az elektrofacies analízis jelenlegi helyzete II. ....	190
<i>Szarka László:</i> A magnetotellurikus térösszefüggések fizikai jelentéséről.....	201
<i>Takács Ernő:</i> Egy bányabeli frekvenciaszondázó módszer alapelvének ellenőrzése fizikai modellezéssel .....	225
Egyesületi hírek.....	239
Könyvismertetés .....	B-4

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Баки Дьёрдь, Бодоки Тамаш, Цифра Ференц, Сун Ксуюши, Ванг Ю Ю, Zhao Юксюан, Юан Гуюсен:</i> Венгерская шахтная геофизика в Китае .....	168
<i>Элек И.:</i> Существующее положение Электрофациального анализа II. ....	190
<i>Сарка Л.:</i> Физическое значение магнитотеллурических пространственных зависимостей .....	201
<i>Такач Е.:</i> Проверка основного принципа метода частотного зондирования применяемого в горных выработках, с помощью физического моделирования .....	225
Новости в обществе Венгерских геофизиков .....	239
Обзор книг .....	B-4

## CONTENTS

<i>Baki Gy. — Bodoky T. — Czifra F. — Sun Xueshi — Wang You Yu — Zhao Yuxuan — Yuan Guesen:</i> In-seam seismic measurements in the Fengfeng (R. P. China) coal mine area.....	168
<i>Elek I.:</i> The current state of the electrofacies analysis II. ....	190
<i>Szarka L.:</i> On the physical meaning of the magnetotelluric field relations .....	201
<i>Takács E.:</i> Checking of the basic principles of a frequency sounding method used in coal mines by physical modelling .....	225
News about the Association .....	239
Book reviews .....	B-4

Főszerkesztő: Zelei András

Szerkesztőbizottság: Deres János, Kilényi Éva, Meskó Attila, Rádler Béla, Verő József

Szerkesztőség címe: 1368 Budapest VI., Anker köz 1. főemelet 17. Postafiók 240.



A bányászati robbantások szeizmikus hatásának vizsgálatát mind módszertanilag, mind mérés technikai vonatkozásban továbbfejlesztette.

Társszerzővel kidolgozta a remanencia-karotázs elméletét és a műszer elvét. A mágneses szuszceptibilitás-fúrólyukszelvényezés alkalmazásának újabb lehetőségeit tárta fel és megvalósítására irányította a műszer kifejlesztését. A széntelepek in situ minősítésére, a bányabeli fúró-lyukszelvényezésre műszert konstruált. Nagy érdeklődést váltott ki a vizes rétegek szivárgási tényezője meghatározására kidolgozott módszere.

Több közlemény szól szilikátipari nyersanyagok kutatási módszereiről. Kidolgozott és széles körben alkalmazott egy speciális geoelektromos módszert — a rétegszelvényezést — üregek kimutatására, amelyet később az archeológiai kutatásokba is bevezetett. Megvalósította a fúrómagok kőzetmechanikai állandóinak dinamikus meghatározását és összefüggést talált azok statikus értékekre való átszámítására.

A hetvenes évek elejétől Csókás János professzor érdeklődése egyre inkább a bányageofizika felé fordult. Ezen a téren a fejlesztésben sok tekintetben úttörő szerepe volt, és emellett a bányabeli geofizikai módszerek alkalmazása elterjesztésének elkötelezett híve és szószólója is lett. Tudományos munkásságának kiemelkedő eredménye egy nemzetközi összevetésben is egyedülálló bányageofizikai geoelektromos módszer — a telepszondázás — kidolgozása, amivel a széntelepes összlet tektonikai zavarai kimutathatók. E témában elért eredményeivel nyerte el 1980-ban a tudomány doktora címet. A külföldi érdeklődés kifejezője, hogy nagy részben erre a módszerre épül a Ruhr Egyetem Geofizikai Intézetével a DFG — MTA együttműködés keretében elindult, immár második kutatási project, aminek Csókás János professzor a magyar vezetője.

Csókás János professzor azon alkotó tudós típusának megtestesítője, aki vallja, hogy az egyetemi tanárnak társadalmi elkötelezettségei is vannak. Intenzív oktatási és kutatói munkája mellett mindig aktív közéleti tevékenységet folytatott. Számtalan funkciójában szenvedélyesen és szókimondóan szolgálta és szolgálja a haladást és ésszerűséget. Az alábbi fontosabb tisztségeket töltötte be: a TIT megyei elnöke, a TIT Országos Elnökség tagja, a TIT Országos Műszaki választmánya tagja, a MTESZ Országos Elnökség tagja, a Magyar Geofizikusok Egyesülete társelnöke, a Magyar Geofizikusok Egyesülete Alföldi, majd Észak-magyarországi Csoportjának elnöke, a Magyar Geofizikusok Egyesülete Bányageofizikai Bizottságának elnöke, a MTA Geofizikai Bizottsága tagja, a TMB Földtudományi Szakbizottságának tagja, az Országos Békétanács tagja.

A hivatását, szakmáját szerető ember legnagyobb öröme munkájának eredménye. Csókás János professzor öröme igazán megalapozott, akár volt hallgatói helytállását, akár a hazai geofizika fejlesztéséhez személyes hozzájárulását, vagy közéleti tevékenységét tekinti. A kitüntetésekben megnyilvánuló elismerés ehhez csak hozzájárulás. Csókás János professzor — a kronológiai sorrend szerint megadva — az alábbi kitüntetések tulajdonosa: *A Felsőkutatás Kiváló Dolgozója* (1953), a *Munka Érdemrend ezüst fokozata* (1971), *TIT Aranykoszorú* (1972), a *Bányászat Kiváló Dolgozója* (1974), *Bányászati Szolgálati Érdemérem arany fokozata* (1976), *MTESZ-díj* (1980), *KFH Kiváló Munkáért* (1983). A Magyar Geofizikusok Egyesülete tiszteletbeli tagsággal (1974) és *Egyed László-emlékéremmel* (1986) ismerte el egyesületi és szakmai munkáját.

Csókás János professzornak 70. születésnapján tanítványai, munkatársai és minden magyar geofizikus nevében jó egészséget, sok örömteli alkotó évét és maradandó életműve további gazdagítását kívánjuk.



## Közügyüleysi beszámoló



Egyesületünk a Gellért Szálloda Goblein termében 1988. március 18-án tartotta ez évi közgyűlést.

Az elnökségben vendégként helyet foglalt Füredi Károly, a MTESZ főtítkárhelyettese is.

A megnyitót Molnár Károly elnök tartotta, aki beszélt az ipar, azon belül a kitermelő ipar és a geofizikai kutatás helyzetéről.

Megállapította, hogy a nehézségek ellenére 1987-ben több, már a jövőt is megalapozó esemény történt. Példaként említett beruházásokat – számítógép a mélyfúrási geofizikának, nagy csatornaszámú terepi műszerek a szeizmikus kutatás számára. Kiemelte az értelmezés fejlődése szempontjából is jelentős Békési medence analízis project befejezését és a geológus – geofizikus együttműködés fontosságát a kutatási feladatok megoldásában.

A jelenlevők megemlékeztek az elmúlt évben elhunyt tagtársainkról, akiknek emlékét őrizzük:

Egerszegi Pál  
Horváth Róbert  
Kremszner Miklós  
Komjáti János  
Szabó György  
Szuchentrunk János  
Vándor Béla

Borsodi Szénbányák  
OKGT  
Vízkutató és Fúró Vállalat  
GKV  
ELGI  
GKV  
GKV



A megnyitó után **Deres János** főtitkár tartotta meg beszámolóját és tájékoztatást adott 1988. évi terveinkről. Tekintve, hogy a beszámolót és az 1988. évi tervet minden egyéni és jogi tag megkapta, csak a fontosabb részleteket emeljük ki.

Az egyesület és a társadalmi gazdasági környezet kapcsolatáról szólva a következőket mondta:

*A Magyar Geofizikusok Egyesülete kis egyesület, munkáját mégis jelentősen befolyásolják az országos események. Az átalakulás és a kibontakozás nem könnyű programjának megvalósítása során ezer és ezer szállal kötődünk nemcsak a földtani, geofizikai munkaterülethez, de jelentős mértékben hatnak ránk az általános munkaügyi, pénzügyi szabályozások, sőt elmondhatom, hogy a MTESZ-en keresztül mi is igyekszünk a rendeletekre, határozatokra visszahatni. Kihat munkánkra a földtani kutatásra fordítható összegek reálértékének csökkenése, melynek ellensúlyozására meg kell keressük az önköltségcsökkentés és hatékonyságnövelés lehetséges módjait.*

Az egyesület feladatait a következőképpen fogalmazta meg:

*A párt határozata, a kormány munkaprogramja és a szövetség cselekvési programja alapján elsősorban a következő feladatokat kell munkánk középpontjába állítani:*

- 1. A műszaki fejlődés gyorsításával összhangban álló szövetségi szintű szakmai-tudományos feladatokat és azok gyakorlati végrehajtását.*
- 2. Közreműködést a magyar munka és termékek minőségének javításában, a magyar márka megerősítésében és védelmében.*
- 3. Résztvételt az oktatás, képzés, át- és továbbképzés korszerűsítésében.*
- 4. A műszaki, természettudományos és gazdasági információgazdálkodás megvalósítását, a szakmai ismeretek hasznosulási hatásfokának javítását.*
- 5. Irányítás, vezetés és szervezés színvonalának emelését.*

Szólt az érdekképviseleti feladatokról különös tekintettel a műszaki értelmiség bér- és kereseti viszonyairól:

*Az egyesületek és a MTESZ a 80-as évek elejétől kezdve tevékenyen részt vállalt a reálértelmiség helyzetének javítása érdekében folyó munkában. Szerepe ma már elismerten érdekkeltáró, érdekközvetítő és érdekképviseleti. Ennek egyik kifejeződése a MTESZ érdekképviseleti munkaközösségének létrehozása és működése.*

Ezt követően az egyesületi életéről beszélt:

*Visszatérve a szorosabban vett egyesületi életre jelenthetem, hogy egyesületünk taglétszáma 774 fő, ami 4%-al haladja meg a tavalyit. Az év folyamán 4 nagyrendezvényünk volt, melyek közül látogatottsága, tudományos értéke, valamint általánosan jó légköre miatt ki szeretném emelni az ifjúsági napokat és a Magyarhoni Földtani Társulattal közösen rendezett vándorgyűlést. A vándorgyűlés közös rendezése bevált, az előadások jól szemléltették a választott „A geofizikai és geológiai módszerek integrált alkalmazása a nyersanyagkutatásban és Magyarország földtani-geofizikai modelljének kialakításában” című témakört.*

*A szimpózium a szokott színvonalon és látogatottsággal zajlott le Drezdában. E fórumon is be kell jelenteni, hogy Kuba visszalépése miatt elvállaltuk az 1989. évi 35. szimpózium budapesti megszervezését.*



Értékelte a bizottságok munkáját is:

*Bizottságaink többsége jól határozta meg fő feladatát, azt sikeresen teljesíti. Néhány területen viszont a bizottsági tevékenység reális célkitűzéseinek meghatározására van szükség. Abból kell kiindulni, hogy csak a reálisan végrehajtható munkaterv lehet jó.*

Az 1987. évi beszámoló végén a szerződéses munkákkal foglalkozott:

*A tavalyi munka kapcsán szólni szeretnénk a szerződéses megbízásokról. E tevékenység múlt évben indult és máris komoly eredményeket hozott. 7 teljesített szerződésünkben 53 tagtársunk végzett munkát. A teljes vállalási összeg 2 605 000 Ft volt. Egyesületünk elnöksége nagy érdeklődés mellett tárgyalta meg az elkészített javaslatok közül azt, amelyet a KFH megbízása alapján, Pályi András vezetésével egy 10 tagból álló munkabizottság készített a geofizika területén kiképzett, ill. ott dolgozó diplomásokról. A 110 oldalas összefoglalóban 76 intézményt, vállalatot értékelték 681 fő adatai alapján. A sokoldalú felmérés kiterjedt az alapképzésre, a tudományos minősítésre, nyelvtudásra, a különböző munkaterületek jelenlegi szakember-ellátottságára és -igényére. A munkát a megbízó köszönettel és elismeréssel fogadta.*

Ezt követően az 1988. évi munkatervet ismertette:

*Átérve az 1988. évi munkatervre elmondhatom, hogy annak előkészítésére ezúttal a szokottnál is nagyobb gondot fordítottunk, úgy gondoljuk ugyanis, hogy idén fokozódik a főhatóságok elvárása, növekszik az egyesület munkáját biztosító vállalatok, intézmények igénye. Várható, hogy a jövőben kevesebb kötöttséggel dönthetnek a vállalati források felhasználásáról, az egyesület támogatásáról. Ez a nagyobb szabadság és követelményrendszer növelésével is jár. Egyesületünk a támogatott egyesületek közé tartozik, 1988-ban 868 E Ft központi támogatást kaphat.*





Célunk gazdálkodásunk javítása, ezt csak takarékos gazdálkodással és forrásaink bővítésével érhetjük el. Szakosztályainknak, területi csoportjainknak, bizottságainknak fontos feladata, hogy a szakma, a vállalatok problémáit megismerjék, azok megoldását sajátos eszközökkel segítsék. Erre jó példa bányageofizikai bizottságunk ez évi munkaterve. A bányageofizikai módszereket alkalmazó vállalatok termelési főmérnökeinek, főgeológusainak részvételével ankétot terveznek, hogy megismerjék az eddigi munkáról véleményüket, összegyűjtsék javaslataikat.

Nagyrendezvényeinknél (ifjúsági ankét jövő héten, vándorgyűlés május végén Szolnokon és a szimpózium október végén Prágában) a takarékoság messzemenő figyelembevételével igyekszünk eljárni.

Az előzetes tervek szerint sok érdekes téma szerepel szakosztályaink és bizottságaink tématervében, közöttük több egész napos előadóülés, vagy szeminárium.

Területi csoportjaink munkájukat már megkezdték, idén viszonylag sok a közös rendezvény (műszaki hetek, társegyesületi helyi csoportok, MTA területi szervezetek, bázisintézmények, de MGE területi csoportok között is).

Bizottságaink közül megemlíteném az oktatási bizottságot, amely már beindította a szakmunkásképző tanfolyamot, technikusminősítő tanfolyamot és az MTA Geofizikai Tudományos Bizottság mélyfúrási geofizikai szakosztállyal közösen 4 napos szemináriumot szerveznek.

Az országos elnökség folyamatosan foglalkozik az alapszabály szerint hatáskörébe utalt ügyekkel, értékeli a nagyrendezvényeket, beszámoltatja a szakosztályokat, bizottságokat, területi csoportokat, elfogadja az éves beszámolót és munkatervet, foglalkozik a hatáskörébe tartozó programok, tervek véleményezésével.

Az országos elnökség 1988-ban megvitatja a szakmai továbbképzés helyzetét az oktatási bizottság előterjesztésében, valamint nemzetközi kapcsolataink továbbfejlesztésének kérdéseit, különös tekintettel a Magyarországon sorra kerülő nagyrendezvényekre.

1988-ban szükséges az ügyvezető elnökség rendszeresebb tevékenységének biztosítása. Az operatívabb ügyintézés rövidebb, de gyakrabban tartott üléseket igényel. Az ügyvezető elnökség általában kéthónaponként ülésezik, a főtitkár az adott tárgyban hetenként tart titkári megbeszéléseket.

A főtitkár beszámolóját az ellenőrző bizottságé követte, melyet Újfalusi Antal tartott meg. Fontosabb megállapításai és adatok:

Az ellenőrző bizottság feladatának megfelelően 1987. év folyamán is ellenőrizte az MGE alapszabály szerinti működését, a hozott határozatok, a tudományos-műszaki célkitűzések megvalósítását, a pénzügyi eszközök célszerű felhasználását.

Egyesületünk 1987. évben is nemcsak az állapítható meg, hogy az alapszabályzatnak megfelelően működött, hanem egy jól kialakított vezetéspolitikával, megfelelő és hatékonyan tevékenykedő szakembergárdával mind a tudomány, mind az ipar területén valóban hasznosan és tekintélyt szerzően munkálkodott. Természetessé vált nagyrendezvényeink színvonalának emelkedése. Az érdeklődés, a részvételi számok növekedése nemcsak azt bizonyítja, hogy a szimpózium a hazai vándorgyűlés a szakembereik fórumává vált, hanem rávilágít a rendezők vezetéssel jól összehangolt, mindenre körültekintő munkájára is.

Egyesületünk pénzügyi forgalma 1987. évben a következőképpen alakult:

Bevétel: 6 341 936 Ft

Kiadás: 6 633 298 Ft

Egyenleg: 291 362 Ft, amit állami támogatásból fedeztünk.



Részletezve:

Bevételek:	egyéni tagdíj	98 280 Ft
	jogi tagdíj	156 600 Ft
	térítés rendezvényből	2 034 744 Ft
	szerződéses munkából	2 605 000 Ft
	egyéb bevétel	1 447 312 Ft (utazási Ft-
	befizetés + vállalati befizetés)	
	Összesen:	6 341 936 Ft

Kiadások:	rendezvényráfordítás	3 518 086 Ft
	működési költség	3 115 212 Ft
	összesen:	6 633 298 Ft

Azt ezt követő részletes elemzést így összegezte:

*Az egyesület 1987. évi tevékenysége tehát mind szakmai, mind pénzügyi szempontból pozitív volt annak ellenére, hogy nehéz évet zártunk, de talán könnyebbet, mint a következő lesz:*

Szünet következett, majd az elnök hozzászólásokat kért az elhangzottakhoz.

**Szabadváry László** megállapította, hogy a geofizikus fiatalok igen érdekes és színvonalas előadásokat tartanak belföldi és külföldi rendezvényeken összehasonlítva, más ország fiataljaival. Elmondta, hogy az egyesület egyes szakosztályi vezetőségeiben nem talál fiatalokat. De ez nem minden esetben probléma. Kifejtette, hogy nem fogadható el, hogy a közgyűlésen és az egyesület bizonyos jellegű munkáiban az ifjúság kisebb arányban vesz részt.

**Pályi András** hozzászólásában a tavaly elkészített – a főtitkári beszámolóban is megemlített – megbízásos munkáról beszélt. Elmondta, hogy ez a megbízás első a KFH részéről, ezért egyesületünk külön kezelte ezt az ügyet. Külön kellett az elnöknek, főtitkárnak és az országos elnökségnek beszámolni. De a KFH részéről is megkülönböztetett figyelem irányult a munkabizottságra, mivel erről a jelentésről a KFH-nak egy beszámolót kellett készíteni a Művelődésügyi Minisztérium számára. Ezután néhány érdekesebb adatot ismertetett. Magyarországon 453 fő geofizikus van. A tanulmányban azt a megállapítást vonták le, hogy különös tekintettel kell lenni a villamosmérnök-képzésben a geofizikára, hiszen a felmérték nagy része villamosmérnök, ill. villamos üzemmérnök diplomával rendelkező személy, akik a műszer szakágazatban tevékenykednek. Ezért célszerű lenne a BME-hez fordulni, hogy vegyék figyelembe ezt a nagy százalékarányt a geofizikus alkalmazásokban, vagy pedig részesítsék fokozottabb geofizikai ismeretekben a villamosmérnököket vagy gépészmérnököket. A másik megállapítás az utánpótlás kérdése volt. Megállapították, hogy a közeljövőben fogja elérni az ágazatot egy nagyobb nyugdíjazási hullám. A jelenlegi képzést jónak tartják és elegendőnek bizonyul a színvonal tartásához. Elmondta, hogy a munkahelyeken sok olyan feladat van, ami szakember igénybevételét tenné szükségessé. Továbbra is jó volna, ha a munkahelyek vezetői látnák ezt a helyzetet.

**Szendró Dénes** megköszönte az egyesület vezetőségének azt, hogy előadások tartására és cikkek írására lehetőséget adtak számára. Elmondta, hogy a geofizika olyan terület, amely nagyon sok tudományág ismeretét követeli meg. Elmondta, hogy a mai fiatalok igen nehéz helyzetben vannak, ezért lassan már az ő korosztályuknak kell támogatni őket. Egyenlő munkáért egyenlő bért kell adni a fiataloknak, mert különben nem lesz utánpótlás. Jó megoldásnak tartja,



hogy az egyesületen keresztül megbízást adnak ki, de abba aktívan be kell vonni a fiatalokat is. Felhívta a figyelmet arra, hogy meg kellene azokat is fizetni, akik két-három diplomával rendelkeznek és azt munkaidőben hasznosítják. Kérte az egyetemek oktatóit, hogy próbáljanak indítani geofizikus szakmérnöki oktatást.

**Ifj. Zilahi-Sebess László** elmondta, hogy 1987-ben volt egy elektrokarotázs szeminárium, melynek a jegyzete a mai napig nem került kiadásra. Érdeklődött már a nyomdánál, a jegyzet kiadási költségéről. Ez az összeg kb. 100 000,— Ft lenne. Azt kérte, ha lehetséges, hogy azok a vállalatok, melyek szakemberei részt vettek a szemináriumon, támogassák ezt a tervet.

**Nagy Zoltán** elmondta, hogy jövőre lesz Budapesten a Nemzetközi Geofizikai Szimpózium, ami csak 4–5 évenként kerül nálunk megrendezésre. Úgy érzi, meg kellene ragadni az alkalmat és a műszerkiállítást kellene olyan szintre emelni, hogy sokan jelentkezzenek. Támogatást kért a szervezőbizottság nevében.

**Füredi Károly** felajánlotta a MTESZ vezetősége nevében, hogy 33,33%-ot a szövetség átvállal az elektrokarotázs-jegyzet kiadásához. Megállapította, hogy egyesületünk azt a helyes gyakorlatot folytatja, hogy külföldre küld ki egyesületi tagokat, hogy gyűjtsenek tapasztalatokat és azokat adják át. A szövetség vezetése nem felejtette el azt, hogy az 1985-ben lezajlott világkongresszusunk jelentős összeggel járult hozzá a MTESZ valutabevételeihez. Változásként elmondta, hogy most már a kitermelt valutabevétel 35%-nak 72%-át kaphatja vissza az egyesület. Ez 40%-kal több, mint eddig. A szerződéses munkákkal kapcsolatban elmondta, hogy abból 48% kerül kifizetésre a munkában résztvevők között. 1988-ban megszűnt az ár- és díjbevételei járulék így, további 12% kerülhet még kifizetésre. Ez nem rossz bevétel az egyesületek számára. A lapkiadással kapcsolatban elmondta, hogy a laptámogatás megszűnik, így az egyesületeknek saját lapkiadást kell szervezni. A tanfolyamokkal kapcsolatban megjegyezte, hogy július 1-jétől hatályos az a minisztertanácsi rendelet, amelyben a szövetséget felhatalmazták, hogy államilag elismert tanfolyami bizonyítványt adhatnak ki. Ezzel is lehet növelni a bevételt. Elmondta, hogy 1988. január 1-jéig az történt, hogy ha valaki nem használta fel a devizáját, az elveszett. 1988. január 1-jétől ez megszűnt és át lehet vinni bármelyik évre. Viszont egyesületünk a nagy világkongresszus miatt pótdewizagigennyel léphet fel.

A hozzászólások és kiegészítések után a közgyűlés egyhangúlag elfogadta a főtítkár és az ellenőrző bizottság beszámolóját.

Befejezésként jutalmak és kitüntetések bejelentése és átnyújtása következett.

**Deres János** főtítkár bejelentette, hogy az egyesület javaslatára **Ráner Géza** MTESZ díjban részesült.

Több évtizedes oktatói és kutatói tevékenységéért **EGYED LÁSZLÓ EMLÉK-ÉRMET** kapott:

**Ádám Oszkár**

**Takács Ernő**

Az egyesület érdekében kifejtett kiemelkedő munkáért **RENNER JÁNOS EMLÉK-ÉRMET** kapott:

**Baráth István**

**Miklós Gergely**



Az elmúlt években kiemelkedő társadalmi munkájukért **Egyesületi Emléklapot** kapott:

Gadó Károly  
Molnár Gábor  
Ormos Tamás  
Véges István  
Ifj. Zilahy-Sebess László

1987. évi legjobb magyar geofizikai elméleti cikke címet:

**Prácsér Ernő:** *A rétegzett feltér tranziens válaszána számítása; látszólagos ellenállás meghatározása* című cikke,

1987. évi legjobb magyar gyakorlati geofizikai cikke címet:

**Várhegyi András – Baranyi István – Gerzson István – Somogyi György:**

*A radontranszport geogáz buborékmodellje és ennek alkalmazása a mélységi uránkutatásban* című cikke nyerte el.

Ezután a főtítkár felolvasta a pénzjutalomban részesültek neveit.

**Molnár Károly** elnök zárta a közgyűlés hivatalos részét, megköszönve a részvételt és jó szórakozást kívánt a szálloda Márvány különtermében megrendezett baráti vacsora résztvevőinek.

## Hibakiigazítás

A lap ez évi 3. számában megjelent **Ferenczy László és Steiner Ferenc:** „A leggyakoribb értékek módszere és alkalmazása a karotázs interpretációban” című, valamint **Ferenczy László, Hájagos Béla és Steiner Ferenc:** „A hagyományos hibadefiníció fogyatékságai. Javaslát új hibadefiníció alkalmazására” című dolgozata. A dolgozatok 1. 2. és 3. ábráinak aláírása felcserélve jelent meg. Helyesen az első dolgozat 1. 2. és 3. ábrájához a második dolgozat 1. 2. és 3. ábrájának aláírása tartozik és fordítva.

A szerzők és az olvasók szíves elnézését kérjük.

*Zelei András*  
felelős szerkesztő



## Magyar bányageofizika Kínában

BAKI GYÖRGY<sup>1</sup>, BODOKY TAMÁS<sup>1</sup>, CZIFRA FERENC<sup>1</sup>, SUN XUESHI<sup>2</sup>, WANG YOUYU<sup>2</sup>  
ZHAO YUXU AN<sup>3</sup>, YUAN GUESEN<sup>2</sup>

A dolgozatban ismertetjük az ELGI bányageofizikai fejlesztéseit, a sújtólégbiztos bányaszeizmikus műszert és a bányabeli szeizmikus mérések adatfeldolgozásához professzionális személyi számítógépre (IBM – AT/PC) kifejlesztett interaktív szeizmikus adatfeldolgozó programrendszert. A bányabeli szeizmikus mérések ezen új eszközeinek alkalmazását kínai szénbányákban végzett mérések leírásán át mutatjuk be.

В работе описаны результаты, достигнутые институтом ЭЛГИ в шахтной геофизике, взрывобезопасный сейсмический прибор, а также интерактивная система программного обеспечения для профессиональной мини ЭВМ типа IBM – AT/PC, которая может быть применена для обработки данных подземных сейсмических измерений. Возможности применения этих новых методов подземных сейсмических измерений показаны на примере работ, выполненных в китайских угольных шахтах.

In this paper discussed are the methodological research on in-mine seismic measurements by ELGI, the firedamp-proof seismic instrument and the interactive program system compiled for professional personal computer (IBM – AT/PC) to process data of in-mine seismic measurements. The use of these new tools of in-mine seismic survey is illustrated in a description of measurements performed in coal-mines of the People's Republic of China.

### Bevezetés

Az 1973. évi olajárrobbanás után világszerte újra megnőtt a szénbányászat jelentősége. A szén iránt jelentkező fokozódó kereslet hatására növekedett a bányákban a gépesítettség mértéke és ezzel együtt szükségessé vált a lefejtendő teleprészek geológiai kutatásának fejlesztése is. A bányabeli földtani kutatás részeként ekkor indultak tényleges fejlődésnek a bányabeli geofizikai kutató eljárások, ezeken belül is elsősorban a szeizmikus csatornahullámokra épülő telephullám-kutatás.

A bányabeli szeizmikus telephullám-kutatásokat elvileg Krey (1963) alapozta meg, majd gyakorlati bevezetésük a Ruhr vidék szénbányáihoz fűződik (Brentrup, 1970).

Magyarországon a kezdeti kísérletek (Bodoky & al, 1976) után a módszer fejlesztése komoly ütemben a nyolcvanas évek legelején indult meg négy jól elkülönülő területen, az elméleti kutatások, a műszerépítés, a mérési módszertan és a számítógépes feldolgozás terén.

A nyolcvanas évek második felére ez a munka olyan szintre emelte a hazai bányabeli szeizmikus telephullám-kutatásokat, hogy egyrészt a hazai bányákban mint rutinszerűen alkalmazott földtani kutatómódszer nyert polgárjogot, másrészt exportképes eladható terméké vált. Az ELGI sújtólégbiztos bányabeli használatra épült szeizmikus berendezését több példányban is exportálta a Szovjetunióba, majd Romániába. A hazai bányageofizika eddigi legjelentősebb sikerét azonban az jelentette, amikor a Kínai Népköztársaság Szénbányászati Miniszté-

<sup>1</sup> Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1146 Budapest, Columbus u. 17–23.

<sup>2</sup> Fengfeng Mining Bureau Handan, Hebei, Kínai Népköztársaság

<sup>3</sup> Kailuan Mining Bureau Tangshan, Hebei, Kínai Népköztársaság



riuma megvette a teljes bányabeli telephullám szeizmika „know-how”-ját műszerrel és a számítógépes feldolgozás program csomagjaival együtt.

A Kínai Népköztársaság rendkívül gazdag kőszénvagyonnal rendelkezik, a kiváló minőségű fekete kőszén több száz bányauzembben fejtik. Ennek megfelelően a szénbányászat igen fontos szerepet játszik az ország energia ellátásában és jelenleg is igen intenzíven fejlődik. A bányabeli geofizikai kutatások bevezetését és fejlesztését Kínában is a szénbányászat gazdaságosságának egyik fontos feltételként tekintik és az elmúlt években jelentős erőfeszítéseket tettek arra, hogy ezen a területen is felzárkózzanak a fejlett ipari országokhoz. Első lépésként megvették az NSZK weszfáliai bányászati kutatóintézetének SEAMEX műszerét, amely ma a bányabeli szeizmikus műszerek között az élvonalat képviseli. Ennek a műszernek kitűnő tulajdonságai mellett azonban komoly hátránya, hogy mérési anyagainak feldolgozásához komoly nagy számítógépközpontra van szükség. Ez sok kisebb bányánál nincsen meg és az anyagok szállíttatása a kontinensnyi országban nehézkes. Ezért keltette fel a Kínai Szénbányászati Minisztérium figyelmét az ELGI rendszere, amely egy viszonylag kis, kézben vagy háton is hordozható műszerre épül és adatfeldolgozását mindössze egy személyi számítógépre alapozza.

A következőkben az ELGI Kínába eladott bányaszeizmikus rendszeréről, annak eszközeiről és a velük végzett bemutató mérésekről szeretnénk beszámolni.

### Az SSS – I sújtólégbiztos bányaszeizmikus műszer

Az SSS – I sújtólégbiztos bányaszeizmikus műszerről először az ELGI 1983. évi jelentésében számoltunk be (*Czifra, 1984*).

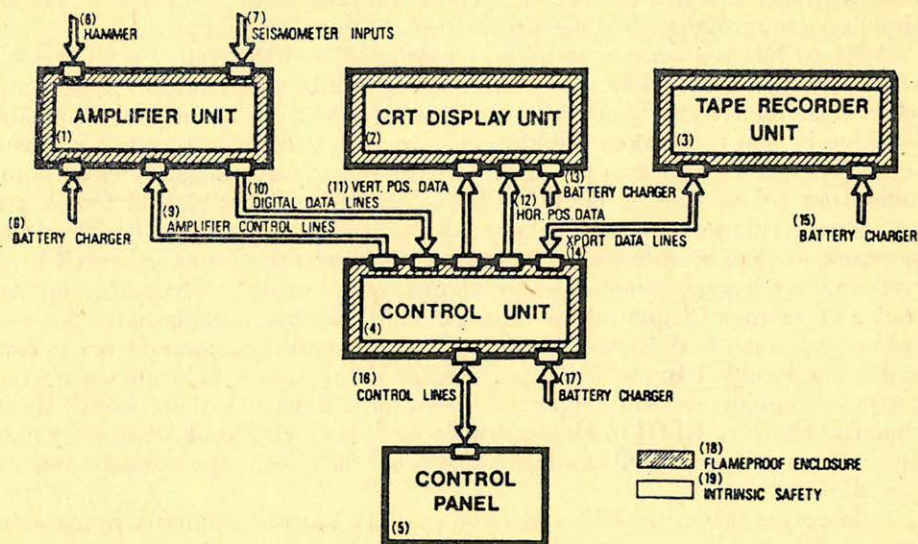
Fejlesztésénél a következő célkitűzéseket követtük:

- tekintettel arra, hogy telephullámok spektruma egy nagyságrenddel is lehet nagyobb az átlagos szeizmikus frekvencia spektrumnál, a műszernek igen széles frekvencia átvitellel kell rendelkeznie,
- a nem robbantásos, kis energiájú rengéskeltők esetleges használata miatt, a műszernek tudnia kell vertikálisan összegezni,
- a műszer sújtólégbiztos kell legyen, hogy szénbányákban korlátozások nélküli biztonságos munkavégzést tegyen lehetővé,
- kis méretű és kézben is hordozható egységekből kell álljon a könnyű bányabeli szállíthatóság kedvéért,
- módot kell adni a felvételek azonnali vizuális ellenőrzésére,
- mágnesszalagos adatrögzítéssel biztosítani kell a felvételek későbbi számítógépes feldolgozásának lehetőségét.

A fejlesztés eredményeként létrejött műszer az 1. ábrán bemutatott egységekből áll:

- erősítő egység (1), ami 12 azonos felépítésű, alul- és felülvágó szűrőkkel rendelkező erősítőt, 12 csatornás analóg multiplexert és A/D konvertert tartalmaz,
- megjelenítő egység (2), amely egy olyan 12 sugaras oszcilloszkópot tartalmaz, amely állókép formájában jeleníti meg a szeizmogramot,
- mágnesszalagos tároló egység (3), amely a szeizmogramot kazettás mágnesszalagon digitális formában rögzíti,





Geo 88/9-1

1. ábra. Az SSS – 1 bányabeli szeizmikus felvevőműszer általános blokkvázlata (1 – erősítő egység; 2 – képernyős megjelenítő; 3 – mágneskazettás tároló; 4 – vezérlőegység; 5 – vezérlőpult; 6 – indítójel; 7 – szeizmométer-csatlakozás; 8, 13, 15, 17 – akkutöltő csatlakozások; 9 – erősítő vezérlővonalak; 10 – digitális adatvonalak; 11 – a függőleges eltérítés adatvonalai; 12 – a vízszintes eltérítés adatvonalai; 14 – a mágneskazettás tárolóadat és vezérlővonalai; 16 – vezérlővonalak; 18 – nyomásálló tokozás; 19 – gyújtószikramentes csatlakozópontok)

Рис. 1. Общая схема шахтного сейсмического прибора типа SSS – 1. 1 – усилительный блок 2 – экран 3 – память на магнитных кассетах 4 – блок управления 5 – пульт управления 6 – пусковой сигнал 7 – контакты сейсмометра 8, 13, 15, 17 – контакты зарядчика аккумуляторов 9 – усилительные линии управления 10 – линии цифровых данных 11 – линии данных вертикальных отклонений 12 – линии данных горизонтальных отклонений 14 – линии данных и управления памяти на магнитных кассетах 16 – линии управления 18 – корпус, непроницаемый под давлением 19 – искробезопасные контакты

Fig. 1. Block diagram of the SSS – 1 firedamp-proof seismic digital system

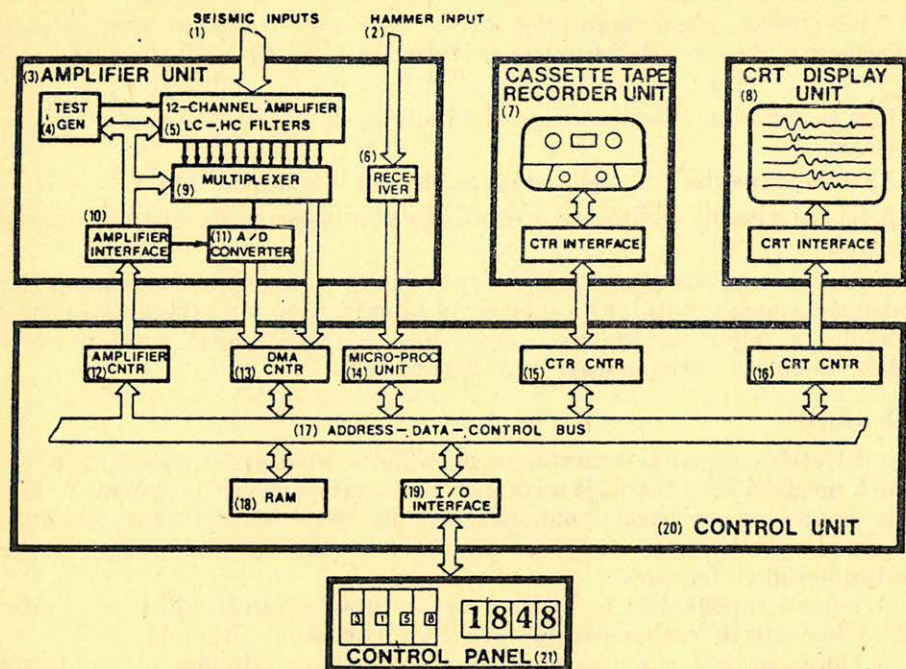
- vezérlőegység (4), ami a mikroprocesszoros központi vezérlést, a memóriát (a vertikális összegzéshez), valamint a többi egység perifériavezérlőit tartalmazza,
- vezérlőpult (5), amely a műszer paramétereinek, illetve üzemmódjának beállításához szükséges kezelő és kijelző szerveket tartalmazza.

A műszer funkcionális blokkvázlatát a 2. ábra mutatja be. Ennek az ábrának a segítségével mutatjuk be a műszer három fő üzemmódját, az ellenőrzést, a felvétélkészítést és az adatrögzítést.

### 1. Ellenőrzés

Ez az üzemmód belső vizsgálógenerátor (4) segítségével ellenőrzi a csatornák amplitúdó- és fázisazonosságát, valamint a terítéskábel és a szeizmométerek működését (nincs-e szakadás vagy zárlat).





Geo 88/9-2

2. ábra. Az SSS-1 funkcionális blokkvázlata (1 - szeizmométer bemenetek; 2 - indítójel-bemenet; 3 - erősítőegység; 4 - vizsgáló generátor; 5 - 12 csatornás erősítő, alul-felülvilágító szűrők; 6 - indítójel-fogadó; 7 - mágneskazettás tárolóegység; 8 - katódsugárcsöves megjelenítő-egység; 9 - analóg multiplexer; 10 - erősítő profilja vezérlője; 11 - analóg-digitális konverter; 12 - erősítő vezérlő; 13 - felvételi DMA-csatoló; 14 - központi vezérlő; 15 - kazettás egységvezérlő; 16 - megjelenítő egységvezérlő; 17 - cím-, vezérlő- és adatbusz; 18 - memória; 19 - I/O csatoló; 20 - vezérlőegység; 21 - vezérlőpult)

Рис. 2. Функциональная схема прибора SSS-1: 1 - вводы сейсмометра 2 - вывод пускового сигнала 3 - усилительный блок 4 - изучающий генератор 5 - 12 тиканальный усилитель с фильтрами верхних и нижних частот 6 - приемник пускового сигнала 7 - память на магнитных кассетах 8 - осциллограф 9 - аналоговый мультиплекс 10 - блок управления усилительной периферии 11 - аналогово-цифровой преобразователь 12 - усилительный блок управления 13 - приемный соединительный блок ДМА 14 - центральный блок управления 15 - кассетный блок управления 16 - блок управления экрана 17 - шина данных, адресов и управления 18 - память 19 - соединительный блок ввод-вывод 20 - блок управления 21 - пульт управления

Fig. 2. Functional scheme of the SSS-1

## 2. Felvételkedzítés

Ebben az üzemmódban készül a felvétel. A felvételkedzítés a rengéskeltőhöz kapcsolt jeladó által küldött indítójel (2) hatására indul el.

A szeizmométerek jelei a 12 csatornás erősítőbe (5) kerülnek, ahol az erősítés csatornánként külön-külön 12 dB-es lépésekkel 24-től 108 dB-ig változtatható. A csatornákon egységesen a következő alulvágó szűrők állíthatók be: 62,5, 125, 250 és 500 Hz.



A felvételezés mintavételi ideje 1, 0.5, 0.25 vagy 0.125 ms lehet és ennek megfelelően a műszer felső frekvenciaátviteli határa 250, 500, 1000 vagy 2000 Hz.

Egy csatorna maximális hossza 2048 minta, de beállítható ennek fele vagy negyede is.

Az A/D konverter (11) felbontása az előjelet is beleértve 10 bit.

A jel-zaj viszony javítására szolgáló vertikális összegzés 64-szeres összegig végezhető.

A felvétel a műszer memóriájába (18) kerül, a memóriatartalmat pedig a katódsugaras megjelenítő (8) segítségével folyamatosan láthatjuk. A képernyő egyidejűleg a teljes felvételhossz negyedrészt jeleníti meg, a teljes felvétel vizuális vizsgálata „átlapozással” valósítható meg.

### 3. Adatrögzítés

A felvételek rögzítése kazettás megnetofon segítségével történik. A felvételezésnek megfelelően a felírás is történhet feles vagy negyedes hosszban, a választott hossz szerint egy kazetta oldalra 6, 11, illetve 21 felvétel fér el. A mágneszalagra az adatok csatornafolytonosan, előírt formátumú blokkokban, fileszervezésben kerülnek felírásra.

A műszer tápellátását a tokozott egységekbe beépített NiCd akkumulátor blokkok biztosítják, ezek kiszerezés nélkül a tokon belül tölthetők.

A bányaszeizmikus műszert bányabeli használatra kifejlesztett háromkomponenses geofonok, két, illetve háromkomponenses kábelrendszer és egy egy-, kettő-, illetve háromkomponenses üzemben egyaránt használható „stacking” kapcsoló egészíti ki.

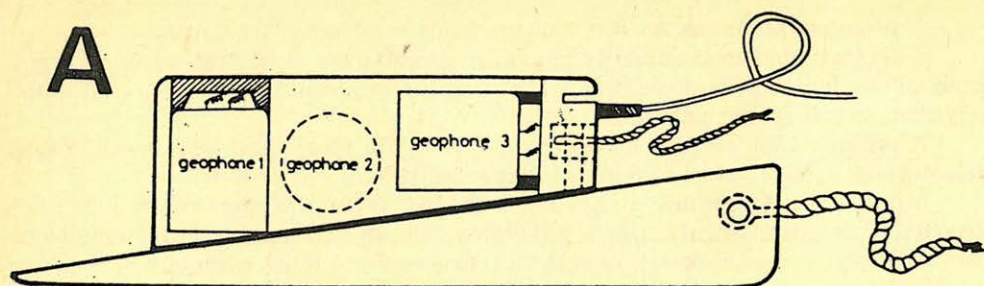
A geofonok kialakításánál arra kellett figyelemmel legyünk, hogy a bányabeli szeizmikus kutatásoknál a geofonokat, illetve a több (kettő vagy három) komponenses geofonszondákat általában a vágatfalba fűrt nagyjából horizontális lyukakba kell beszorítani, mégpedig úgy, hogy megbízható csatolása legyen még a magas frekvenciánál is és ne lépjen fel sehol a bizonytalan fekvésből eredő rezonancia. Ezért szondaházainkat hasáb alakúra képeztük ki és beszorító ékkel láttuk el (3. ábra). A szondaházak anyaga alumínium, amelyet a szikravédelem követelményeinek kielégítésére speciális felületkezeléssel látnak el.

### A bányabeli szeizmikus telephullám-mérések feldolgozása

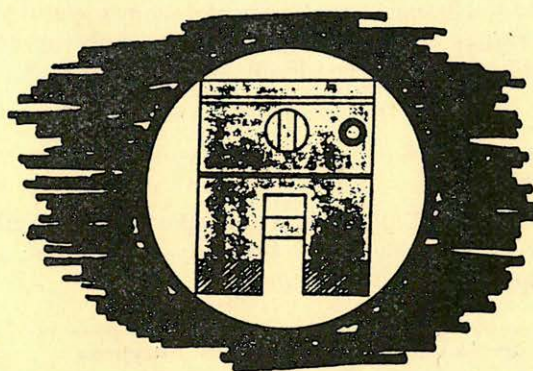
A 80-as évek közepére a bányabeli szeizmikus telephullám-mérések túljutottak a kísérleti stádiumon és egyes bányavidékeken rutinszerűvé, a bányaművelés mindennapos részévé váltak. Ez az új helyzet új követelményeket teremtett elsősorban a bányageofizikai mérések eredményszolgáltatásának gyorsaságával kapcsolatosan. Az új igényekhez mérten az elsősorban előkutatási és kőolajkutatási feladatoknak megfelelően megszervezett nagy számítógépes szeizmikus adatfeldolgozás átfutási ideje túl hosszúnak bizonyult. Ezért a bányabeli szeizmikus mérések feldolgozásának felgyorsítására és rugalmasabbá tételére egy nagy teljesítményű személyi számítógépre (IBM – AT/PC) alapozva új szeizmikus adatfeldolgozó rendszert fejlesztettünk ki.

A megvalósított feldolgozás elvi alapjait és gyakorlati alkalmazását itt nem kívánjuk tárgyalni, ez megtalálható a Magyar Geofizika korábbi számaiban (Bodoky & al, 1986; Bodoky & al, 1986 b).





**B**



Geo 88/9-3

3. ábra. A bányabeli használatra kifejlesztett geofonszonda oldalnézeti vázlata (A) és helyzete a vágatfalba fúrt lyukban (B)

Рис. 3. Геофон, разработанный для использования в шахтах (вид сбоку А) и положение его в шпуре, пробуренном в стенке горной выработки В)

Fig. 3. Scheme of the three component seismometer (A side view; B position in a hole)

Az új feldolgozó rendszerben a mérési eljárástól függően három különböző programcsomag vehető igénybe a feldolgozáshoz, a telephullám átvilágításos, a telephullám reflexiós és a háromkomponenses reflexiós feldolgozó rendszer.

Mindhárom programcsomag azonos hardware konfigurációt követel meg:  
IBM – AT/PC számítógép

20 Mb Winchester lemez háttértár

1.2 Mb Floppy lemez

512 Kb memória

IBM színes grafikus adapter és display

Matematikai segédprocesszor (INTEL 80287)

Kazettás mágnesszalagos egység soros (RS – 232) interface-el

Mátrixnyomtató



A programcsomagok a DOS 3.0 operációs rendszer alatt futnak.

A fentiek szerint kialakított hardware és software együttest, azaz a bányászati szeizmikus feldolgozó munkahelyet a nagyfokú interaktivitás és a rendkívül egyszerű kezelhetőség jellemzi.

A programcsomagok behívásakor a képernyőn megjelenik egy menü, amely felsorolja a választható funkciókat, illetve műveleteket (4. ábra).

Mindhárom programcsomag azonos módon végzi el a szeizmikus felvételek bevitelét, az adatmozgatást és a felvételek, illetve szelvényrészletek megjelenítését. Ezeket a funkciókat a következő parancsokkal lehet a menüből kiválasztani:

**INSTALLATION** – a feldolgozás alapvető paramétereinek (pl. mintavételi idő, csatornahossz, felvételek csatornaszáma stb.) definiálása,

**LOAD** – szeizmikus felvétel beolvasása a kazettás mágnesszalagos egységről, Winchester lemezzel vagy Floppy lemezzel,

**VIEW** – szeizmikus felvételek vagy szelvényrészletek megjelenítése képernyőn, ahol változtatható az erősítés, a felvételek „scroll”-ozhatók, valamint kurzorral az egyes csatornákon időpontok, illetve időablakok jelölhetők ki,

**SAVE** – a feldolgozott felvételek felírása Floppy vagy Winchester lemeze,

**PRINT** – a szeizmikus felvételek vagy szelvények megjelenítése mátrix nyomtatón hullámalak kiírással,

**SYSTEM** – a rendszer a **SYSTEM** állapotban a kiválasztott geofizikai műveletet végrehajtja az összes olyan felvételen vagy szelvényen részletesen, amelyiket ennek a parancsnak a paraméterlistájában megadtunk.

IN-SEAM Seismic Reflection Program Version 1.00 (C) Copyright ELGI 1986		
Installation	Edit	Spectrum
Load	<input type="text" value="Norm"/>	Correction
View	Filter	Velocity scan
Print	Envelop	Group velocity
Save	Rotation	Phase velocity
Return to DOS	Stack	System
Norm		Work files
Window lenght	: 300	Last loaded file:
Shift lenght	: 150	Dorog03
Gain	: 200	Last saved file:
Average amplitude		Dorog02
Average energy		
Maximum amplitude		

4. ábra. A szeizmikus telephullám reflexiók feldolgozó programcsomag menü képe

Рис. 4. Графическое изображение программы обработки данных отражения сейсмических волн

Fig. 4. Menu of the in-seam seismic reflection processing system on the screen



A menü bal alsó sarkában jelenik meg az egyes utasításokhoz tartozó paraméterlista, jobb alsó sarkában pedig az éppen beolvasott, illetve kiírt felvétel neve.

Az általános adatbeviteli parancsok mellett vannak speciális ilyen jellegű utasítások is, például az átvilágításos csomagban a mérési geometria adatainak bevitelére vagy a reflexiós csomagban a statikus korrekciók bevitelére stb. Ugyanígy van a megjelenítésnél is, ahol például az átvilágításos mérések eredmény térképei megjeleníthetők a nyomtatón térkép vagy számjegyes mátrix formájában is.

Az utasítások másik nagy csoportja szeizmikus feldolgozó alapműveleteket hajt végre:

- szeizmogramok szerkesztését, hibás csatornák törlését vagy polaritásának fordítását,
- csatornák normálását, illetve skálázását (átlagenergiára, átlagamplitúdóra vagy amplitúdó maximumra),
- csatornák alulvágó-, felülvágó- vagy sávszűrését,
- csatornák burkoló képzését (Hilbert transzformációval),
- csatornák orientációjának forgatását (több komponenses méréseknél),
- csatornák normál korrekcióját,
- szeizmogramok közös referenciapontos összegzését, vagy az átvilágításnál,
- csatornák relatív átvilágíthatósági értékeinek meghatározását,
- relatív átvilágíthatósági térképek számítását.

Végül az utasítások harmadik csoportja a különböző szeizmikus paraméterek vizsgálatát, pl. spektrum, diszperzió vagy polarizáció analízisét szolgálja.

A programcsomagok strukturális felépítésűek és tetszőlegesen tovább bővíthetők, az egyes modulok könnyen módosíthatók vagy cserélhetők.

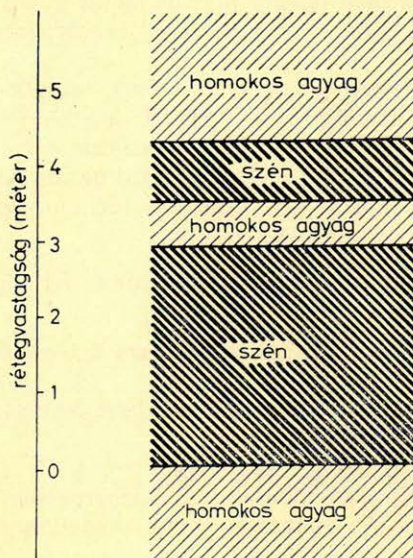
### Szeizmikus telephullám-mérések a Feng-Feng-i szénbányákban

A Kínai Szénbányászati Minisztérium és a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet között létrejött kereskedelmi szerződés értelmében 1987 első felében az ELGI Kínába szállított egy tartozékokkal felszerelt SSS-1 bányaszeizmikus berendezést és átadta a bányabeli szeizmikus mérések feldolgozására szolgáló programcsomagjait, majd ugyanez év szeptemberében és októberében résztvett az eszközök üzembe állítását célzó bányabeli szeizmikus telephullám-mérésekben a Hebei tartománybeli Feng-Feng Szénbányák Sun-Zhuang bányauzemében.

A mérések bányászati lag ismert területeken folytak, földtani-geofizikai céljuk elsősorban a magyar bányákban kialakított mérési metodika (Bodoky & al, 1986; Bodoky & al 1986 b) Feng-Feng-i alkalmazhatóságának vizsgálata volt. Ennek megfelelően egy átvilágító és egy reflexiós mérést végeztünk.

A kutatási területen több telep található egymás alatt, a vizsgált telep kb. 250 m-es felszín alatti mélységben helyezkedett el, földtani felépítése 5. ábránkon látható. Számítottuk ennek a közelítőleg 3 m vastag két pados telepnek a diszperziós összefüggését egy öt réteges modell alkalmazásával (Rüder & al, 1986). A kapott görbéket 6. ábránk, a hozzájuk tartozó amplitúdó eloszlásokat 7. ábránk mutatja be.



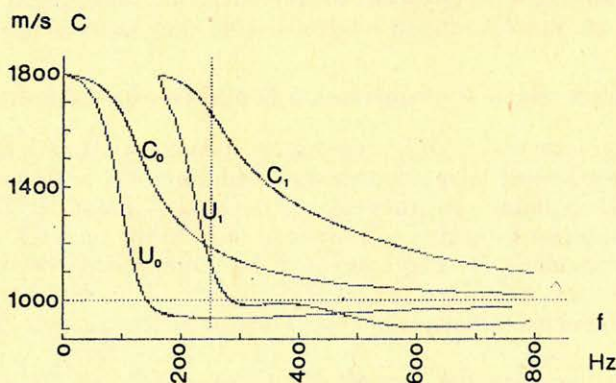


Geo 88/3-5

5. ábra. A széntelep felépítése a Sun-Zhuang-i kísérleti területen (Feng-Feng, Hebei, Kína)

Рис. 5. Строение угольного пласта на опытной территории Сун-Зуанг (Фенг-Фенг, Хеbei, Китай)

Fig. 5. Geological scheme of the investigated seam in the Sun-Zhuang Colliery



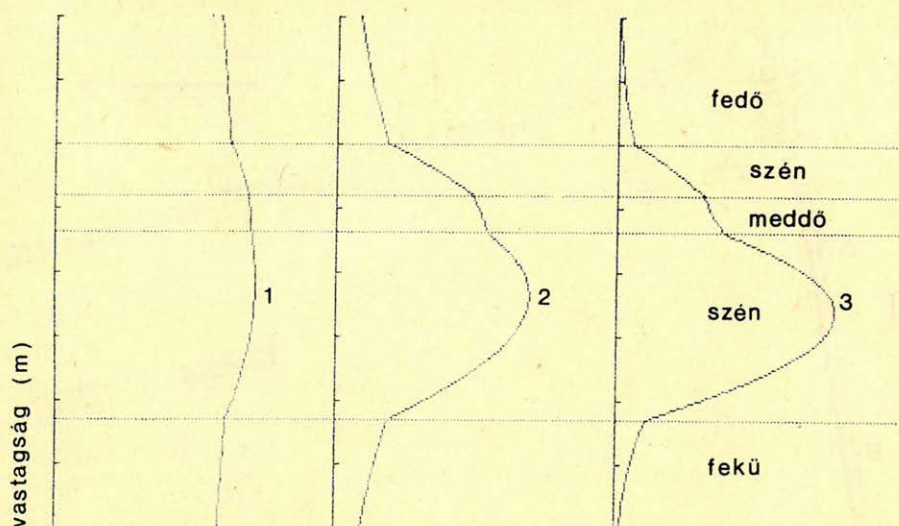
Geo 88/9-6

6. ábra. A kísérleti terület széntelepének öt réteges modellel számított diszperziós görbéi, (paraméterek: fedőre és fekére  $V = 1800$  m/s,  $\rho = 2,3$  g/cm; szénre  $V = 1000$  m/s,  $\rho = 1,3$  g/cm; meddő padra  $V = 1400$  m/s,  $\rho = 2,1$  g/cm)

Рис. 6. Дисперсионные кривые угольного пласта опытной территории, вычисленные с помощью пятислойной модели. Параметры: для кровли и подошвы —  $V = 1800$  м/сек.,  $\rho = 1,3$  г/см; для угля —  $V = 1000$  м/сек.,  $\rho = 1,3$  г/см; для прослойки пустых пород —  $V = 1400$  м/сек.,  $\rho = 2,1$  г/см

Fig. 6. Dispersion curves of the investigated seam





Geo 88/9-7

7. ábra. A telephullám amplitúdó eloszlásai a telepben különböző frekvenciáknál (1 -  $f = 50$  Hz; 2 -  $f = 150$  Hz; 3 -  $f = 250$  Hz)

Рис. 7. Распределение амплитуды волн в пласте при различных частотах  
1 -  $f = 50$  Гц; 2 -  $f = 150$  Гц; 3 -  $f = 250$  Гц)

Fig. 7. Amplitude distribution of the SH seam waves at 50 Hz (1), 150 Hz (2) and 250 Hz (3) in the investigated seam

### Átvilágító mérések

A kutatási terület helyszínrajza a 8. ábrán látható. A kutatott mezőt három vágat határolta, ezekből kellett a mérést elvégezni. Így a hullámforrásként szolgáló 23 robbantó pontot az I. és III., míg a négy (A, B, C és D jelű) terítést a II. és a III. vágatba telepítettük.

Terítéseink az SSS-1 műszer 12 csatornájának megfelelően 6 darab két horizontális komponenset tartalmazó szondából épültek fel, a terítéseken belül a szondák távolsága 10 m volt. A szondákat a 7. ábra amplitúdó eloszlásainak maximum helyére, vagyis az alsó pad közép síkjában a vágat falra merőlegesen fúrt lyukba helyeztük. (A szondák valójában természetesen három komponensesek, de a telephullám szeizmikában csak két horizontális komponensüket regisztráljuk.)

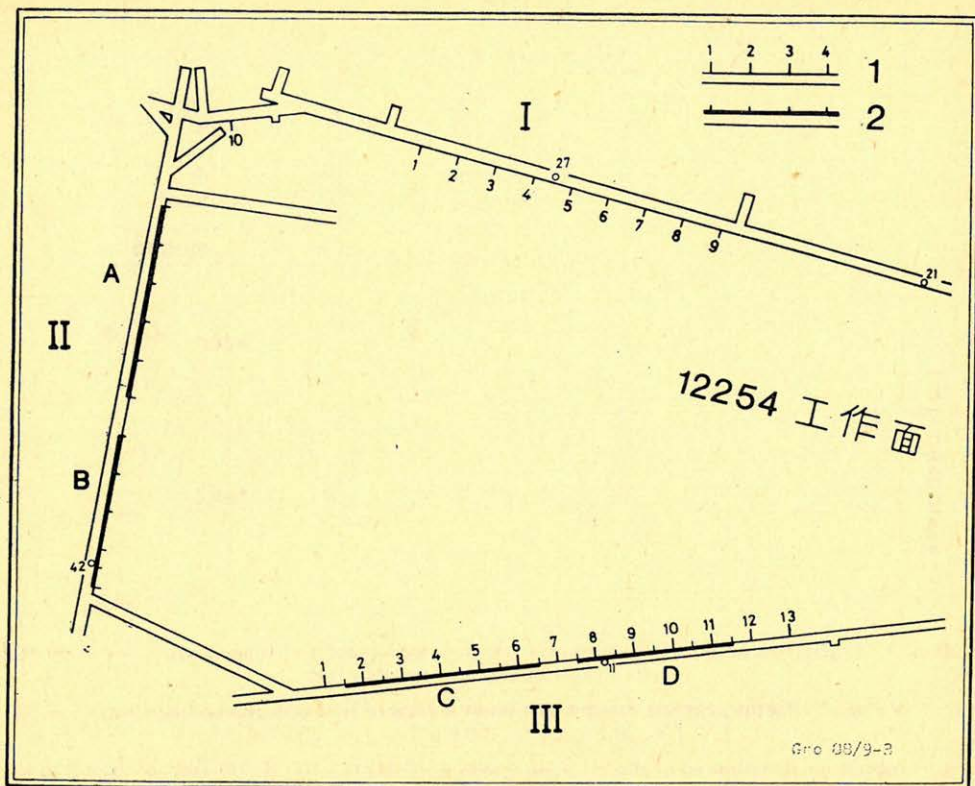
A robbantásokat a geofonszondákhoz hasonlóan szintén az alsó pad közép-síkjába fúrt lyukakban végeztük.

A telephullámalap módosulatának diszperziós görbéje alapján (6. ábra) mintavételi időnek a 0-250 Hz-es átvitelt biztosító 1 ms-ot választottuk.

A mérés során 18 feldolgozásra alkalmas felvételt regisztráltunk. Két tipikus felvételt mutat be 9. ábránk.

A felvételek feldolgozásánál szerkesztést, majd spektrumanalízist végeztünk (10. ábra). A mért spektrumok és a számított diszperziós görbék figyelembe-





8. ábra. A szeizmikus telephullám átvilágító mérések helyszínrajza (Sun-Zhuang Bányüzem, Feng-Feng, Hebei, Kína) (1 – robbantó pontok, 2 – terítés)

Рис. 8. План измерений просвечивания сейсмическими волнами (рудник Сун-Зуанг, Фенг-Фенг, Хеbei, Китай) (1 – точки взрывов, 2 – распределение)

Fig. 8. Location map of the transmission survey in the Sun-Zhuang Colliery (1. shot points; 2. receiver spread)

vételével a relatív átvilágíthatósági térképek készítéséhez a következő paramétereket használtuk:

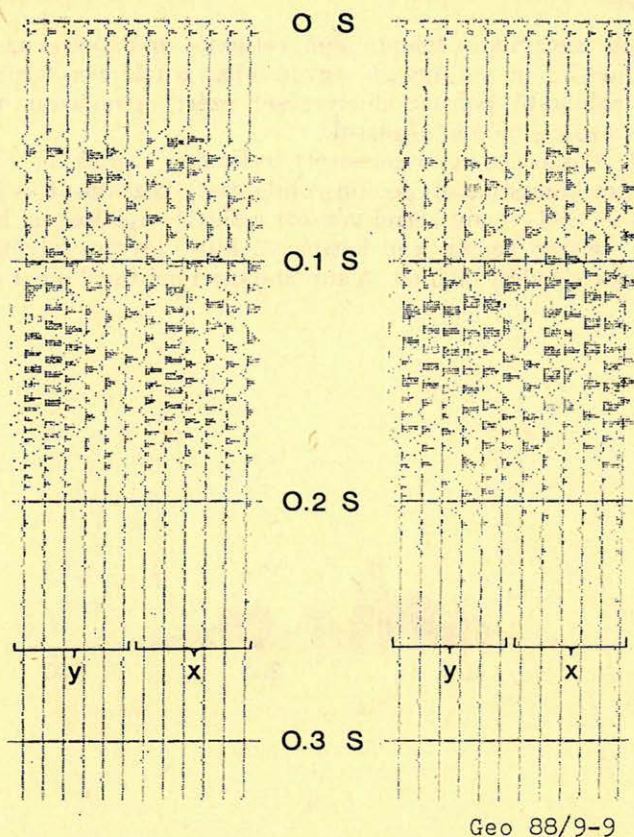
referencia kapu: 50 – 120 Hz    felső kapuk: 135 – 170 Hz  
 170 – 205 Hz  
 205 – 240 Hz

A három eredmény térképet a 11., 12. és 13. ábrán közöljük. A térképek színezésére a mátrix nyomtató adata lehetőségeknek megfelelően négy színt használtunk, az 1. a zavartalan, a 2. az enyhén zavart, a 3. az erősen zavart átvilágíthatóságot és végül a 4. az átvilágíthatatlan – árnyék – zónákat jelzi.

Az eredményeket elemezve megállapítottuk, hogy:

- a vizsgált mezőnek az A, B, C terítések és a D terítés első fele által közrezárt, nagyjából trapéz alakú része igen jól átvilágítható még a magas frekvenciákkal is, ezért a telep itt minden bizonnyal folytonos, tektonikai zavaroktól mentes,





Geo 88/9-9

9. ábra. Tipikus átvilágító felvételek

Рис. 9. Типичные сейсмограммы просвечивания

Fig. 9. Typical transmission records in Sun-Zhuang Colliery

- a terület bal felső részének (I. vágat 1. robbantó pontja és az A terítés közé eső rész) magasabb frekvenciákon jelentkező zavartsága az itt kihajtott vágatok, illetve kamrák számlájára írható, tektonikai zavart valószínűleg nem jelez,
- jelentősebb vetőnek vagy más tektonikai zavarnak kell fellépnie az I. vágat 10. és 1., valamint a III. vágat 10. és 11. robbantó pontjai között elterülő térrészen, erre utal az itt jelentkező tömör árnyékszóna.

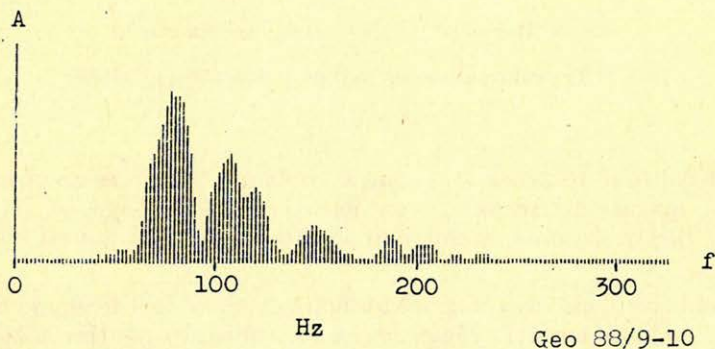
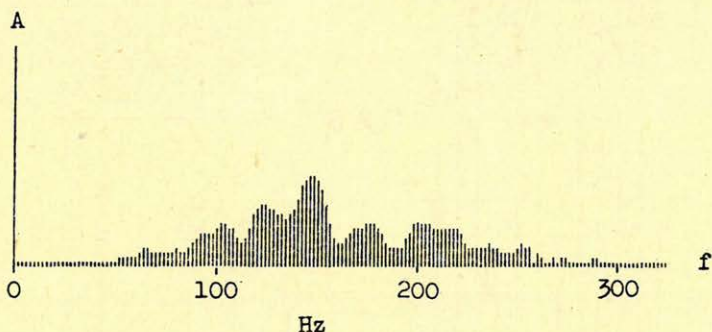
A telepzavar helye az árnyékszónán belül nem volt pontosabban lokalizálható – ehhez a mérést az eredmények ismeretében további felvételekkel kellett volna kiegészíteni – az eredményeket az utólagos egyeztetésnél mégis helyesnek fogadták el, mert az árnyékszónában egy kb. 5 m-es elvetési magasságú vető húzóódott.



## Reflexiós mérések

A bányabeli szeizmikus telephullám reflexiós mérésekre az átvilágításos mérések helyszínétől nem túl messze, ugyanabban a telepben került sor. A geofonszondák és robbantó pontok elhelyezését ezért ugyanazon megfontolások alapján teljesen azonos módon végeztük.

Az SSS-1 műszerhez rendszeresített reflexiós „stacking” kábelrendszer egyidejűleg 18 két komponenses geofonszonda csatlakoztatását és kezelését teszi lehetővé. Ezért az SSS-1 műszerrel végzett reflexiós méréseknél kialakítottunk egy „standard” terítési sémát, ami kétirányú külső lövéses felvételezés mellett egyenletes hatszoros fedést biztosít. A sun-zhuang-i mérésnél is ezt a sémát alkal-



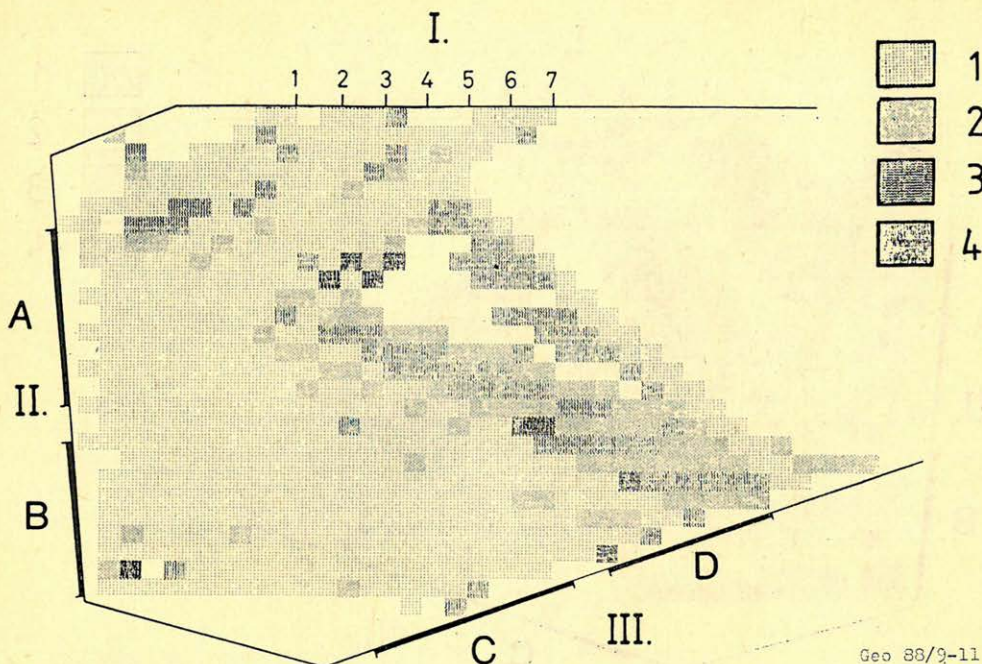
Geo 88/9-10

10. ábra. Átvilágító felvételek frekvencia spektrumai (felül jó, alul rossz átvilágíthatóság esetén)

Рис. 10. Частотные спектры просвечивания (в случае хорошей просвечиваемости в верхней части и плохой просвечиваемости в нижней части)

Fig. 10. Typical spectra of the channel waves in the case of good (upper) and bad (lower) transmittance





11. ábra. Relatív átvilágíthatósági térkép a Sun-Zhuang Bányüzemből 135–170/50–120 Hz-es kapura számítva (1 – a zavartalan, 2 – az enyhén zavart, 3 – az erősen zavart átvilágíthatóságot, 4 – az átvilágíthatatlan árnyékszónákat jelzi)

Рис. 11. Карта относительной просвечиваемости рудника Сун-Зуанг, вычисленной для окна 135–170/50–120 Гц (1 – без помех, 2 – с незначительными помехами, 3 – со значительными помехами, 4 – непросвечиваемые зоны)

Fig. 11. Relative transmittance map for the 135–170/50–120 Hz frequency windows in Sun-Zhuang Colliery (1. good transmittance; 2. slightly decreased transmittance; 3. strongly decreased transmittance; 4. no transmittance)

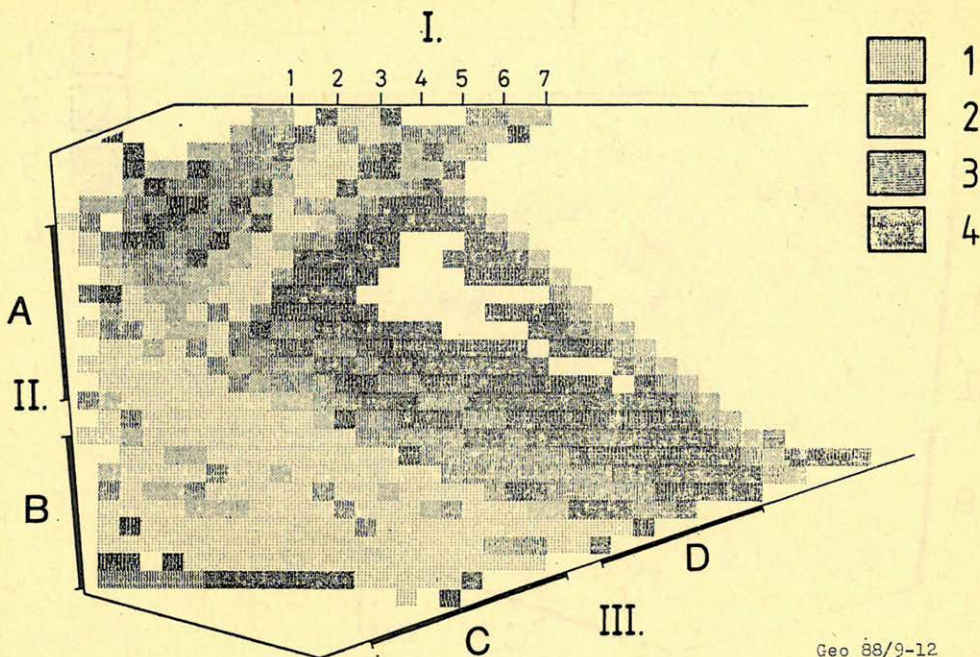
máztuk 5 m-es geofonszonda-távolsággal és mindkét irányban 12,5 m-es offsettel átterítés nélkül, vagyis a vonal pont 18 szondahely hosszú volt. A telep azonos-  
ságára való tekintettel itt is 1 ms mintavételi időt használtunk.

A mérés helyszínrajzát a 14. ábra mutatja be.

A mérés során 21 feldolgozásra alkalmas felvétel készült.

A feldolgozást a jeleknek a viszonylag nagy telepvastagságból adódó alacsony frekvenciás jellege miatt az úgynevezett „felszíni” séma szerint végeztük, vagyis szerkesztést, normálást és amplitúdó skálázást, normál korrekciót, közös referenciapontos összegzést és különböző szűréseket foglalt magában. A két komponens feldolgozása külön külön, de ugyanazon módon történt.





12. ábra. Relatív átvilágíthatósági térkép a Sun-Zhuang Bányáüzemből 170–205/50–120 Hz-es kapura számítva (1 – a zavartalan, 2 – az enyhén zavart, 3 – az erősen zavart átvilágíthatóságot, 4 – az átvilágíthatatlan árnyékszónákat jelzi)

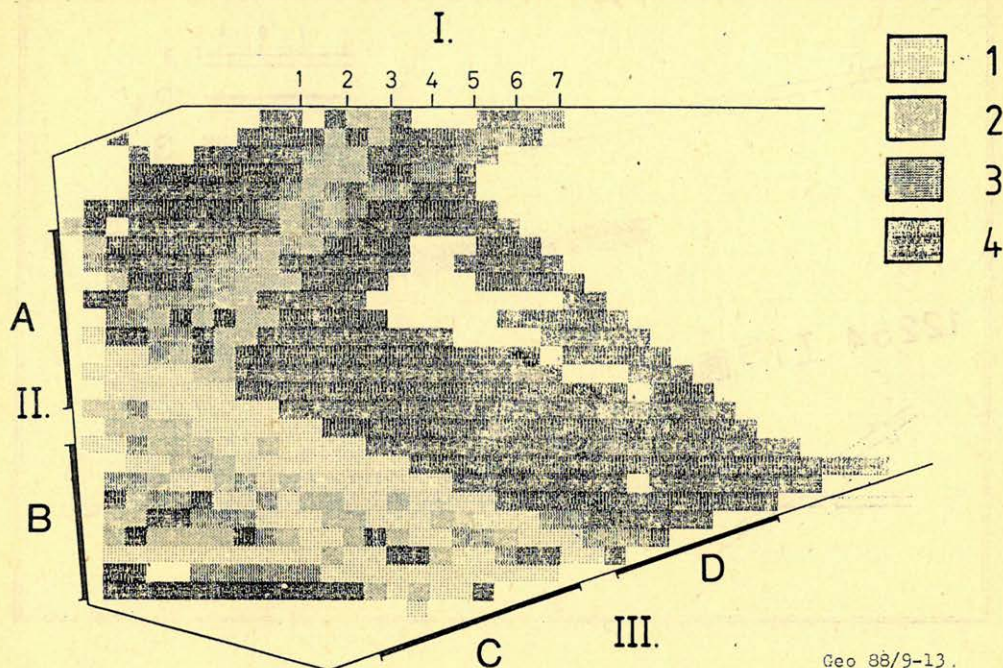
Рис 12. Карта относительной просвечиваемости рудника Сун-Зуанг, вычисленной для окна 170–205/50–120 Гц (1 – без помех, 2 – с незначительными помехами, 3 – со значительными помехами, 4 – непросвечиваемые зоны)

Fig. 12. Relative transmittance map for the 170–205/50–120 Hz frequency windows in Sun-Zhuang Colliery (1. good transmittance; 2. slightly decreased transmittance; 3. strongly decreased transmittance; 4. no transmittance)

A reflexiók eredmény szelvények közül az Y (a vágattal azonos irányban polarizált) komponens szélessávú összagszelvényét és ennek 50–90 Hz-es, illetve 70–120 Hz-es sávval szűrt változatait mutatjuk be 15., 16. és 17. ábránkon. Szelvényeinken 130–140 ms körül egy gyenge reflexió jelentkezett, ezt bejelöltük és megszerkesztettük – a 17. ábrán a bejelölt szelvény látható. A szerkesztéshez az átvilágításos felvételek csoportsebesség analíziséből kaptuk a terjedési sebességet (18. ábra). A reflexió gyenge jel-zaj viszonyából az elvetési magasság egésztelepesnél kisebb voltára következtettünk. Eredménytérképünket a 14. ábrán közöljük.

Az utólagos egyeztetésnél ez a mérési eredmény is helytállónak bizonyult, mert 6–8 m-en belül egyezett egy a vágatokból ismert vető – elég távolról – bevetített helyzetével.





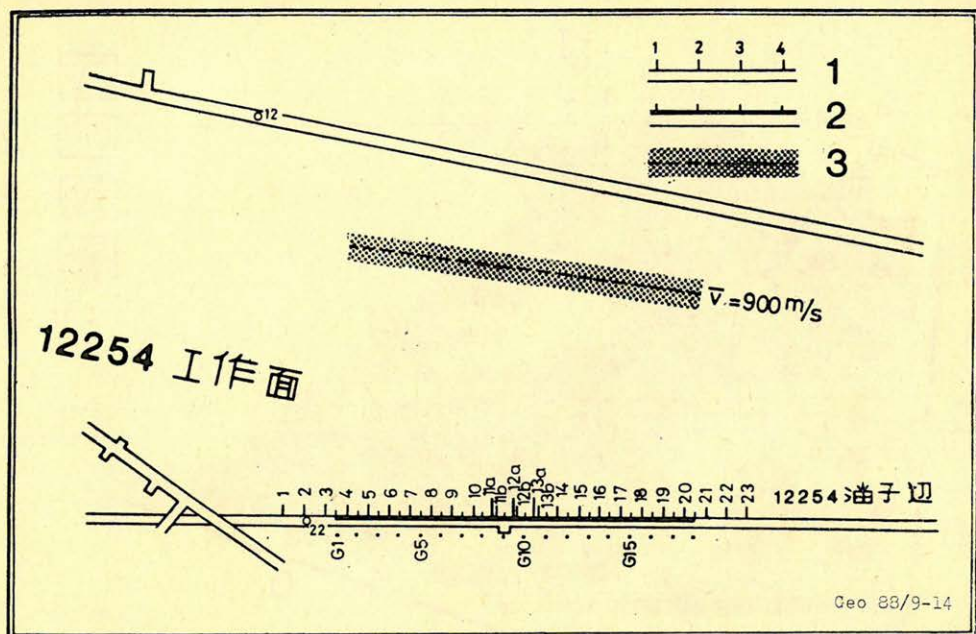
Geo 88/9-13.

13. ábra. Relatív átvilágíthatósági térkép a Sun-Zhuang Bányauzemből 205–240/50–120 Hz-es kapura számítva (1 – a zavartalan, 2 – az enyhén zavart, 3 – az erősen zavart átvilágíthatóságot, 4 – az átvilágíthatatlan árnyékszónákat jelzi)

Рис. 13. Карта относительной просвечиваемости рудника Сун-Зуанг, вычисленной для окна 205–240/50–120 Гц (1 – без помех, 2 – с незначительными помехами, 3 – со значительными помехами, 4 – непросвечиваемые зоны)

Fig. 13. Relative transmittance map for the 205–240/50–120 Hz frequency windows in Sun-Zhuang Colliery (1. good transmittance; 2. slightly decreased transmittance; 3. strongly decreased transmittance; 4. no transmittance)



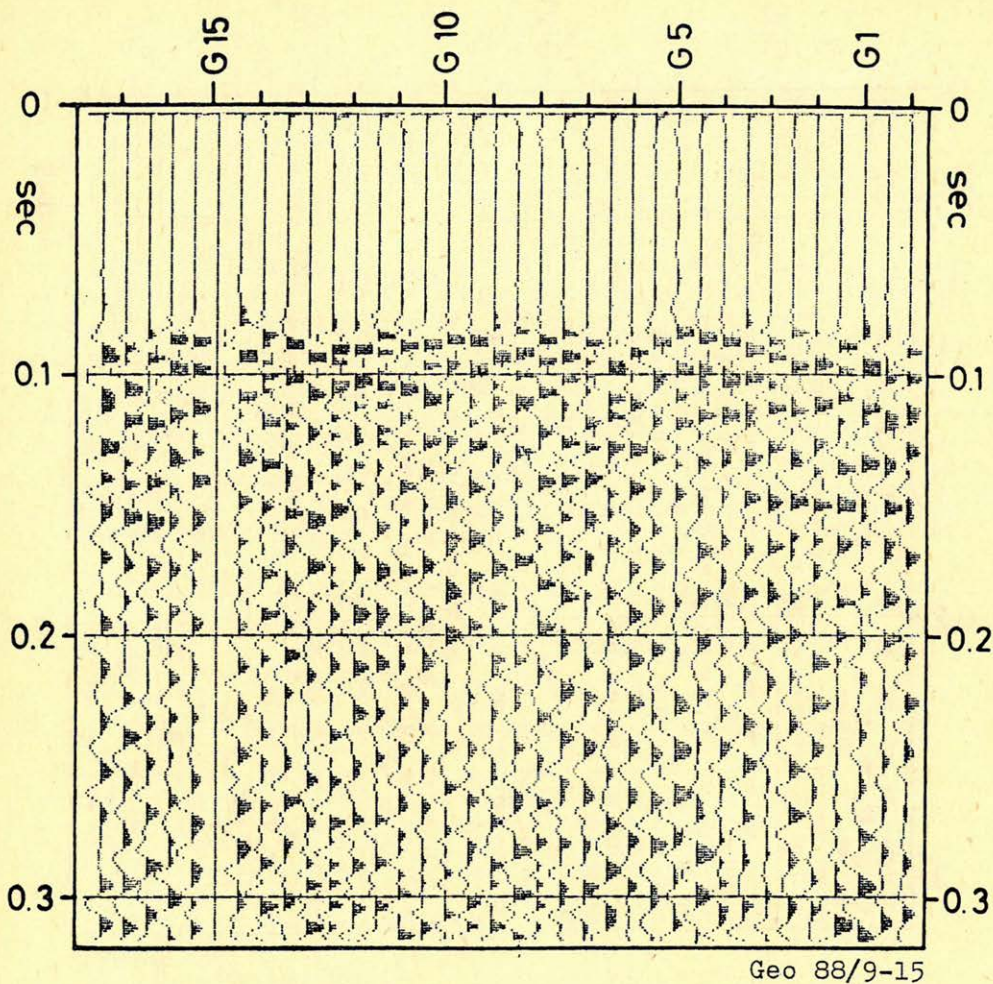


14. ábra. A szeizmikus telephullám reflexiós mérések helyszínrajza és eredménytérképe (Sun-Zhuang Bányüzem, Feng-Feng, Hebei, Kína) (1 – robbantó pontok, 2 – terítés, 3 – reflektáló felület)

Рис. 14. План и карта полученных результатов измерений отражения сейсмических волн (рудник Сун-Зуанг, Фенг-Фенг, Хеbei, Китай)  
(1 – точки взрывов, 2 – распределение, 3 – поверхность отражения)

Fig. 14. Location map of the reflection survey in Sun-Zhuang Colliery (1. shot points; 2. receiver spread; 3. reflecting interface)



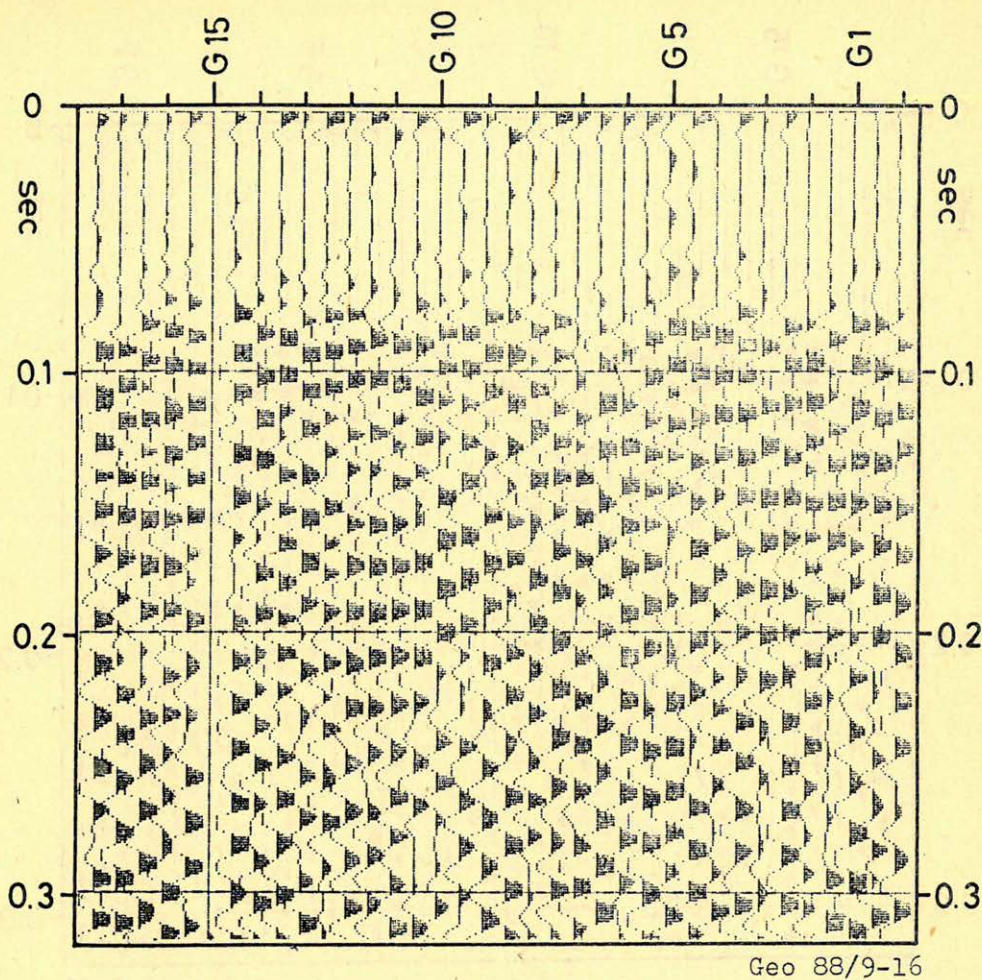


15. ábra. Szeizmikus telephullám reflexiók összszelvény (Sun-Zhuang Bányászati)

Рис. 15. Сводный разрез отражения сейсмических волн (рудник Сун-Зуанг)

Fig. 15. In-seam seismic reflection profile in the Sun-Zhuang Colliery (wide band version)



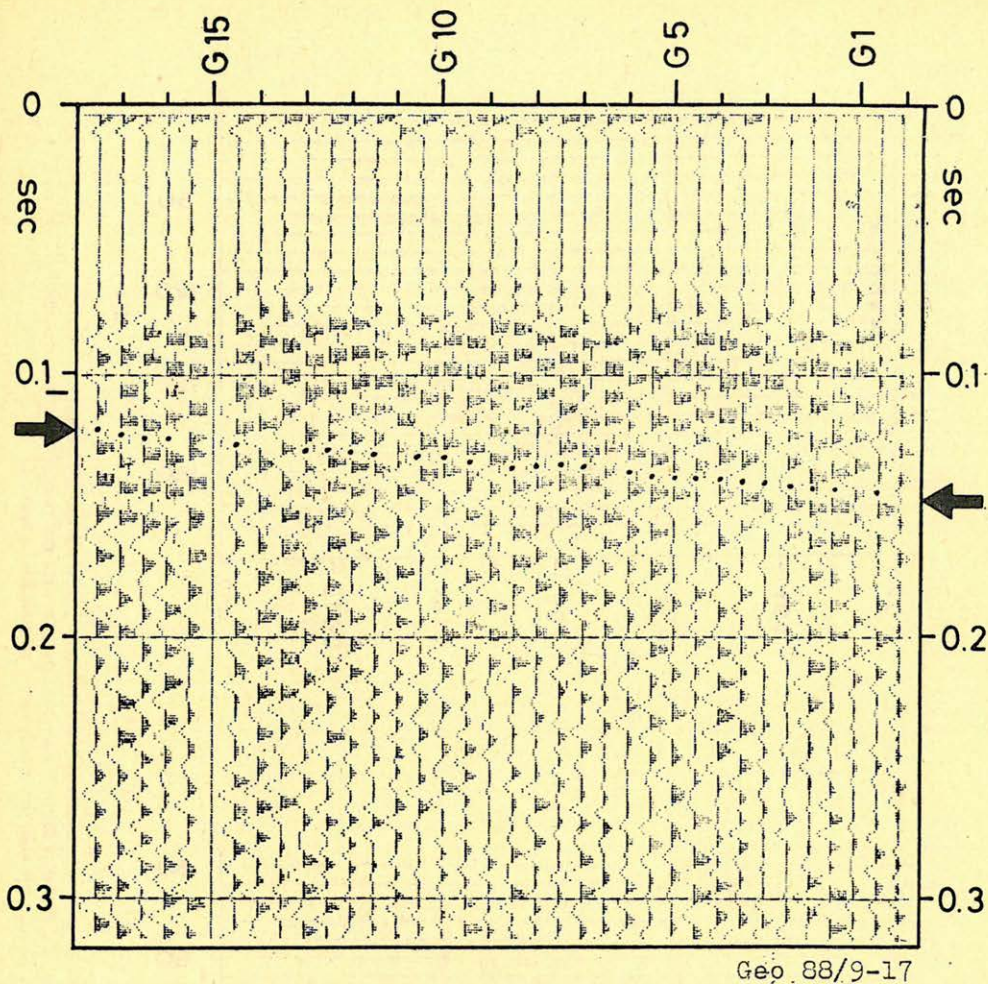


16. ábra. A 15. ábrán bemutatott időszelvény 50 – 90 Hz-es frekvenciasávval szűrt változata

Рис. 16. Вариант временного разреза, показанного на рис. 15, при фильтрации диапазоном частот 50 – 90 Гц

Fig. 16. In-seam seismic reflection profile in the Sun-Zhuang Colliery (50 – 90 Hz band version)



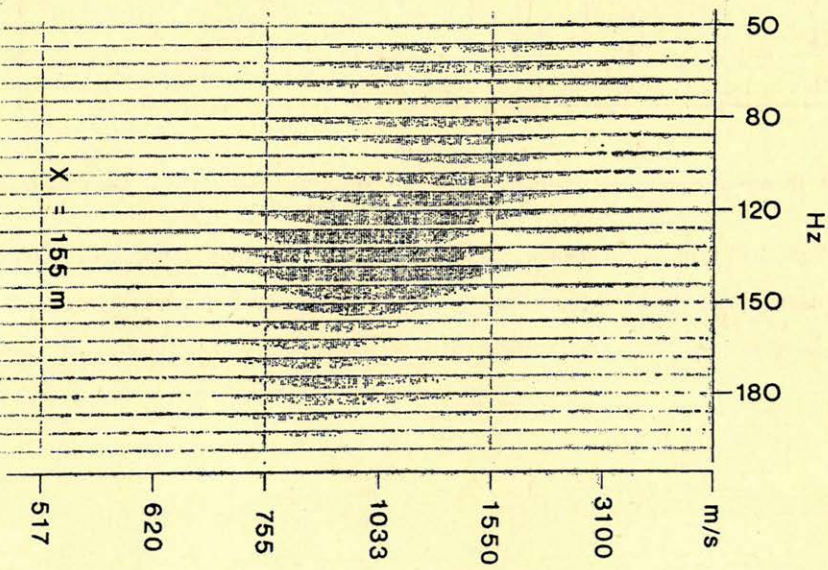
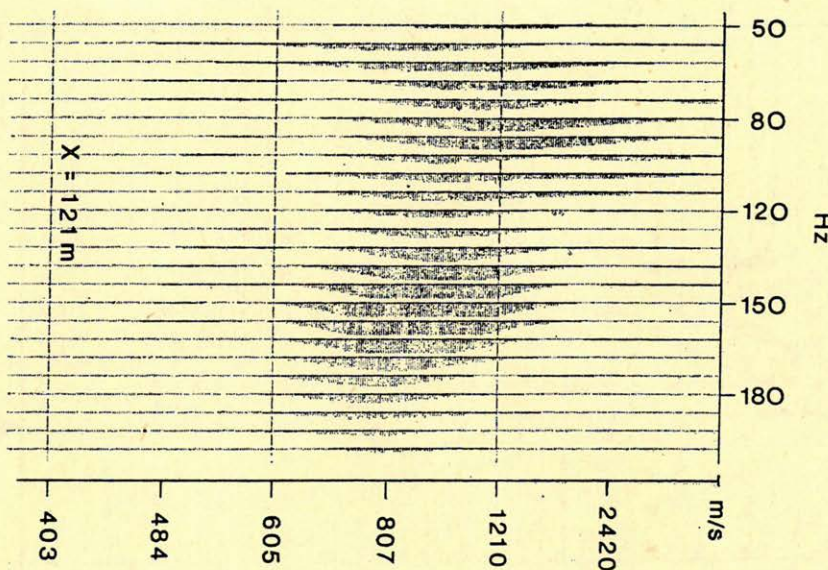


17. ábra. A 15. ábrán bemutatott időszelvény 70 – 120 Hz-es frekvenciasávval szűrt változata (a reflexiónak értelmezett jelet nyilak és pontozás jelöli)

Рис. 17. Вариант временного разреза, показанного на рис. 15, при фильтрации диапазоном частот 70 – 120 Гц (сигналы, интерпретированные как отражение, показаны стрелками и точками)

Fig. 17. In-seam seismic reflection profile in the Sun-Zhuang Colliery (70 – 120 Hz band version)





18. ábra. A telephullámok csoport sebességének analízise a terjedési sebességek megfigyzására  
 Рис. 18. Анализ групповой скорости волн с целью определения скорости распространения  
 Fig. 18. Group velocity analysis on transmission records



- Bodoky, T., Lajgut, J., Sédy, L. & Szeidovitz, Zs. 1976*, Andezit áttörések előrejelzése bányabeli szeizmikus mérésekkel, *Bányászati és Kohászati Lapok Bányászat* 109, 671 – 675.
- Bodoky, T., Hermann, L., Dianiska, L. & Törös, E., 1986*, A szeizmikus csatornahullámok alkalmazása a szénbányászatban (I. rész: Telephullám átvilágító mérések), *Magyar Geofizika* 27, 157 – 182.
- Bodoky, T., Cziller, E., Táborosky, Gy. & Törös, E., 1986 b*, A szeizmikus csatornahullámok alkalmazása a szénbányászatban (II. rész: Telephullám reflexiós mérések), *Magyar Geofizika* 27, 197 – 215.
- Brentrup, F. K., 1970*, Seismische Vorfelderkundung zur Ortung Tektonischer Störungen im Steinkohlenbergbau, *Glückauf* 106, 933 – 938.
- Dobróka, M. és Ormos T., 1983*, Absorption – Dispersion Relations for Love Channel Waves, *Geofizikai Közlemények* 29., 117 – 127.
- Czifra, F., 1984*, Bányaszeizmikus műszerfejlesztés, *A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1983. évi jelentése*-ben, ELGI, Budapest.
- Krey, T., 1963*, Channel Waves as a Tool of Applied Geophysics in Coal Mining, *Geophysics* 28, 701 – 714.
- Räder, D., Schott, W., Dresen, L. & Rüter, H., 1985*, Calculation of Dispersion Curves and Amplitude-depth Distributions of Love Channel Waves in Horizontally-layered Media, *Geophysical Prospecting* 33, 800 – 816.



# Az elektrofációs-analízis jelenlegi helyzete

## II. rész

ELEK ISTVÁN\*

Az előző dolgozatban bemutattuk az elektrofációs-analízis külföldi lehetőségeit. Jelen dolgozatban áttekintjük a SZKFI Geofizikai Főosztályán elkészült elektrofációs-analízissel kapcsolatos eljárásokat. Kitérünk azokra a kérdésekre is, hogy a nyugati módszerekből mit lehet megvalósítani hazai viszonyok között, valamint, hogy a megvalósítható eljárások közül mit sikerült elvégezni.

Egy konkrét példa segítségével megpróbáljuk vázolni a hazai lehetőségeket. Már itt a bevezetőben el kell mondanunk, hogy akár a nyugati megoldások, akár a hazai próbálkozások csakis geológus és geofizikus közös munkájaként lehetnek eredményesek. (Gyakran fogunk utalni az elektrofációs-analízis külföldi eredményeit tárgyaló előző dolgozatra, amelyre a továbbiakban I. rész elnevezéssel fogunk hivatkozni.)

В предыдущей статье нами было описано положение электрофациального анализа зарубежом. В данной статье рассматриваются методы, связанные с электрофациальным анализом, разработанные Главным отделом геофизики Научно-исследовательского института вычислительной техники (СКФИ). Здесь рассматривается также и то, какие методы, применяемые в капиталистических странах, могут быть использованы на практике и в условиях Венгрии, а также то, какие из методов уже были применены на практике.

На конкретном примере рассматриваются возможности применения метода в нашей стране. Следует заметить, что методы, используемые в капиталистических странах и попытки их применения в Венгрии могут быть осуществлены только в результате совместной работы геологов и геофизиков. В статье автор часто ссылается на предыдущую статью, в которой рассматриваются результаты применения метода электрофациального анализа зарубежом, так что в дальнейшем эта работа будет упоминаться как часть 1.

In the previous part the possibility of electrofacies analysis has been described. In the current part the procedures developed in Hungarian Hydrocarbon Institute will be introduced. We deal with that question which technique of western countries can be constructed in Hungary and which process has been made by now.

We try to outline the Hungarian possibilities in a concrete case. We need to tell either the western or Hungarian results can be successful if only geologists and geophysicists work together. (We often cite the previous part (I. part) dealing with the results of electrofacies analysis in foreign countries.)

Az elektrofációs analízis külföldi lehetőségeinek bemutatása után rátérünk a magyar viszonyok vizsgálatára.

Először is vessünk egy pillantást az I. rész 1. ábrájára, amely a különböző szelvényfélések érzékenységét mutatja a négyféle fációs jellemzőre. Sajnos be kell látnunk, hogy a hazai szelvényválasztékból hiányoznak olyan mérési módszerek, amelyek nélkül az elektrofációs-analízis eleve nem lehet teljes. Tudomásul kell vennünk, hogy csökkent szelvényválasztékból csakis csökkent teljesítőképességgel valósítható meg az elektrofációs-analízis.

Ezek után lássuk, mely lépések látszanak megvalósíthatónak magyar viszonyok között:

- a kézi elektrofációs-azonosításnak elvben minden lépése megvalósítható. Gyakorlatilag korlátot csak a csökkent szelvényválaszték jelent.

\* Magyar Szénhidrogénipari Kutató-Fejlesztő Intézet (SZKFI) Százhalombatta Pf. 32. 2443



- az automatikus fáciesazonosítás sem látszik megoldhatatlannak, azonban nem szabad elfelejteni, hogy a gyakorlati problémának látszó csökkent szelvényválaszték itt már elvi nehézségeket is okozhat. Nyilvánvaló, hogy az I. részben vázolt „N” dimenziós térbeli elektrofáciesek annál inkább elkülöníthetők lesznek, minél nagyobb „N”, azaz minél több szelvényt tudunk figyelembe venni.

Egy konkrét példával szeretnénk bemutatni, hogy hol tart ma a karottázs-szelvények alapján végzett elektrofácies-analízis. Két kutat dolgoztunk fel (Battonya – E – 4,5).

A feldolgozás egyik alapvető fázisa a zónáció, azaz a szelvények rétegekre bontása, valamint a rétegek jellemzése. A rétegekre bontó eljárást részletesen nem ismertetjük, mivel azok a [6] és [8] számú cikkekben megtalálhatók. Az érthetőség kedvéért azonban nagyon vázlatosan átfutunk az eljárás működésén.

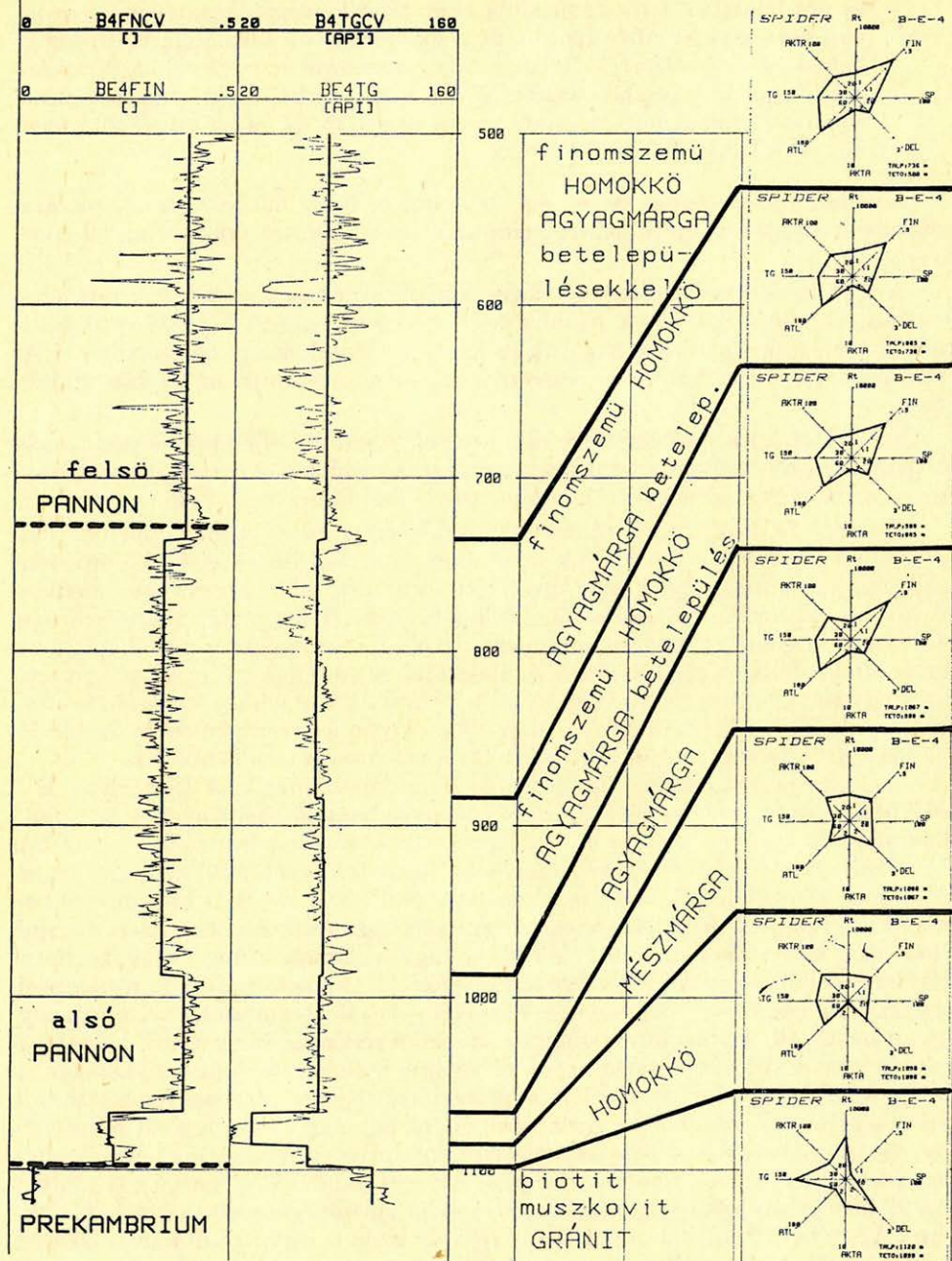
Számítsuk ki a rendelkezésre álló szelvényeink első főkomponensét, amely tartalmazza ezen szelvények varianciáinak legnagyobb közös részét. A továbbiakban a szelvényeket azok első főkomponensével fogjuk helyettesíteni.

Döntsük el, hogy mekkora az a legkisebb réteg, amelyet még éppen ki akarunk mutatni. Ezek után szűrjük meg ennek megfelelően az első főkomponens szelvényt (a szűrés egy a még éppen kimutatandó ablakhosszúságú medián-szűrővel majd ezután egy ennek megfelelő felső határfrekvenciájú simító szűrővel végezzük.) A simított első főkomponens deriváltja segítségével megállapítjuk a legfinomabb felbontáshoz tartozó réteghatárokat (minden inflexiós pontba rakunk egy réteghatárt), majd ezek közül a határok közül elhagyjuk azokat, amelyeket valamilyen kritériumok alapján jelentéktelennek nyilvánítunk. A felbontás finomsága tetszés szerint állítható akár a program futása közben is.

A program működését a feldolgozott kutak szemléltetik. A Battonya – E – 4,5 kutak alapszelvényeire rárajzoltuk a zónákra bontott szelvényeket és a pókdíagramokat. Ezt mutatja az 1. és 2. ábra. Az 1. ábrán a Battonya – E – 4 kút a 2. ábrán Battonya – E – 5 kút szelvényei láthatók, ezenkívül szöveges információk is vannak a pókdíagramok melletti oszlopban, amik a kútkönyvekben szereplő „Befejező jelentés” rétegsor leírásából származnak. Ezt azért tartjuk fontosnak hangsúlyozni, mert előfordul, hogy valamely réteg- vagy korhatár kútkönyvekből származó mélysége nem egyezik a geofizikusnak a karottázsszelvényekre alapozott véleményével. (A szelvények jellegtelen szakaszára esik egy-egy átmenet, ill. a kútkönyvi rétegsor kevésbé részletes, mint ami a karottázsszelvényekből kikövetkeztethető.) A rétegekre bontó programfutás közben kiírja a legfontosabb információkat a procedúrával kapcsolatban. Ezek láthatók kutanként a 3., 4. ábrákon. A nyers szelvények egymás közti függését mutatja a korrelációs mátrix, amit érdemes megvizsgálni, mivel pl. gyenge korreláció esetén nem lesz meglepő, ha a rétegekre bontás nem lesz minden szelvényre ugyanolyan mértékben jó. Az első főkomponens variancia sűrítőképessége leolvasható (%-ban). A sajátvektorok U1 oszlopában láthatók azok az együtthatók, amelyekkel, mint súlyokkal kiszámítottuk az első főkomponenset. (Ebből leolvasható, hogy melyik szelvény szerepe a legnagyobb az első főkomponensben.)

A következő lépés a rétegek jellemzése. Jellemezzük a kapott rétegeket az egyes szelvények rétegbeli értékeinek (robusztus) átlagával. Így tehát a rétegeket szelvényenként egy-egy adattal jellemezzük. (Emlékezzünk az I. rész létradiagramjaira vagy a pókdíagramokra.)

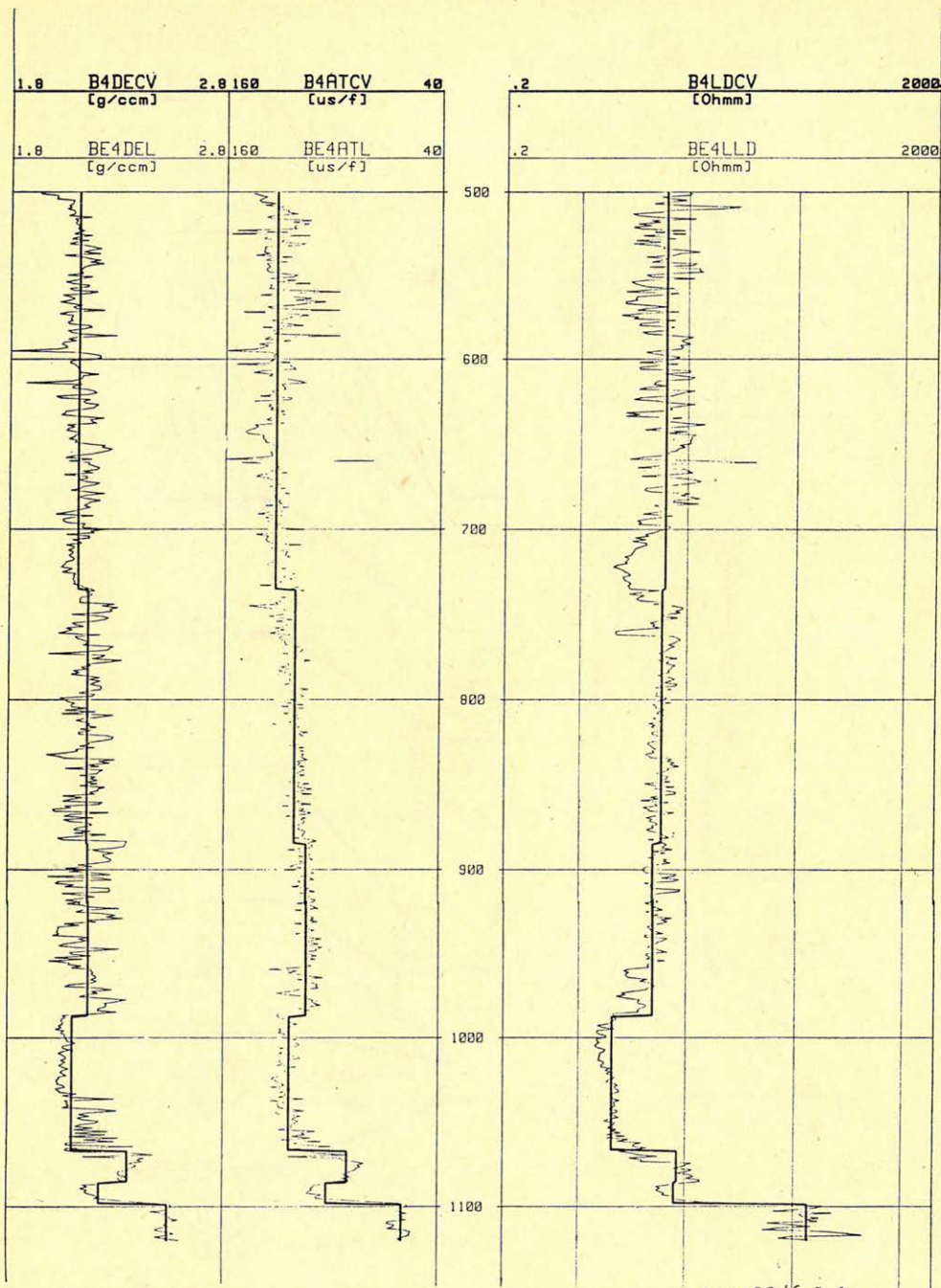




Geo 88/6-1.a.

1.a. ábra  
Puc. 1. a.  
Fig. 1.a.

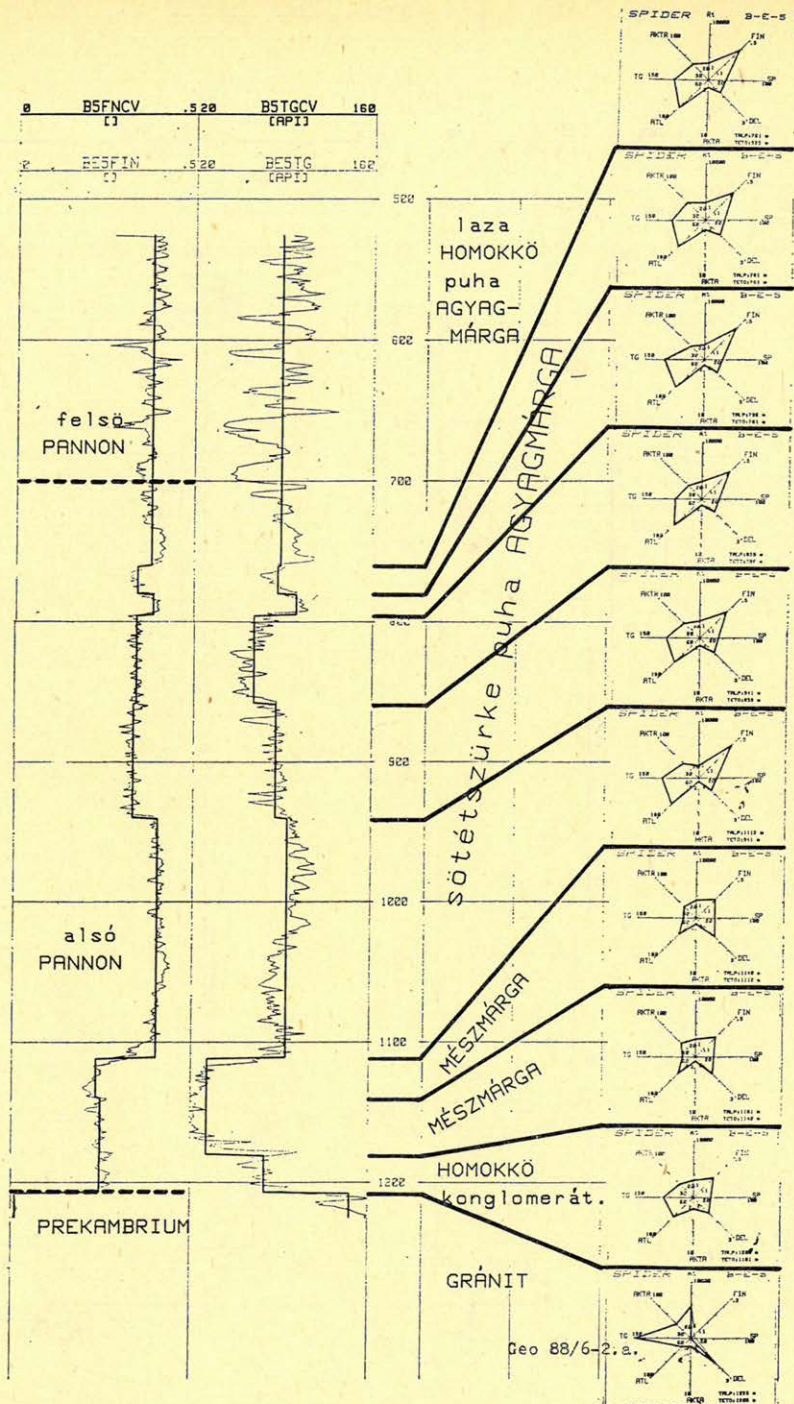




Geo 88/6-1.b.

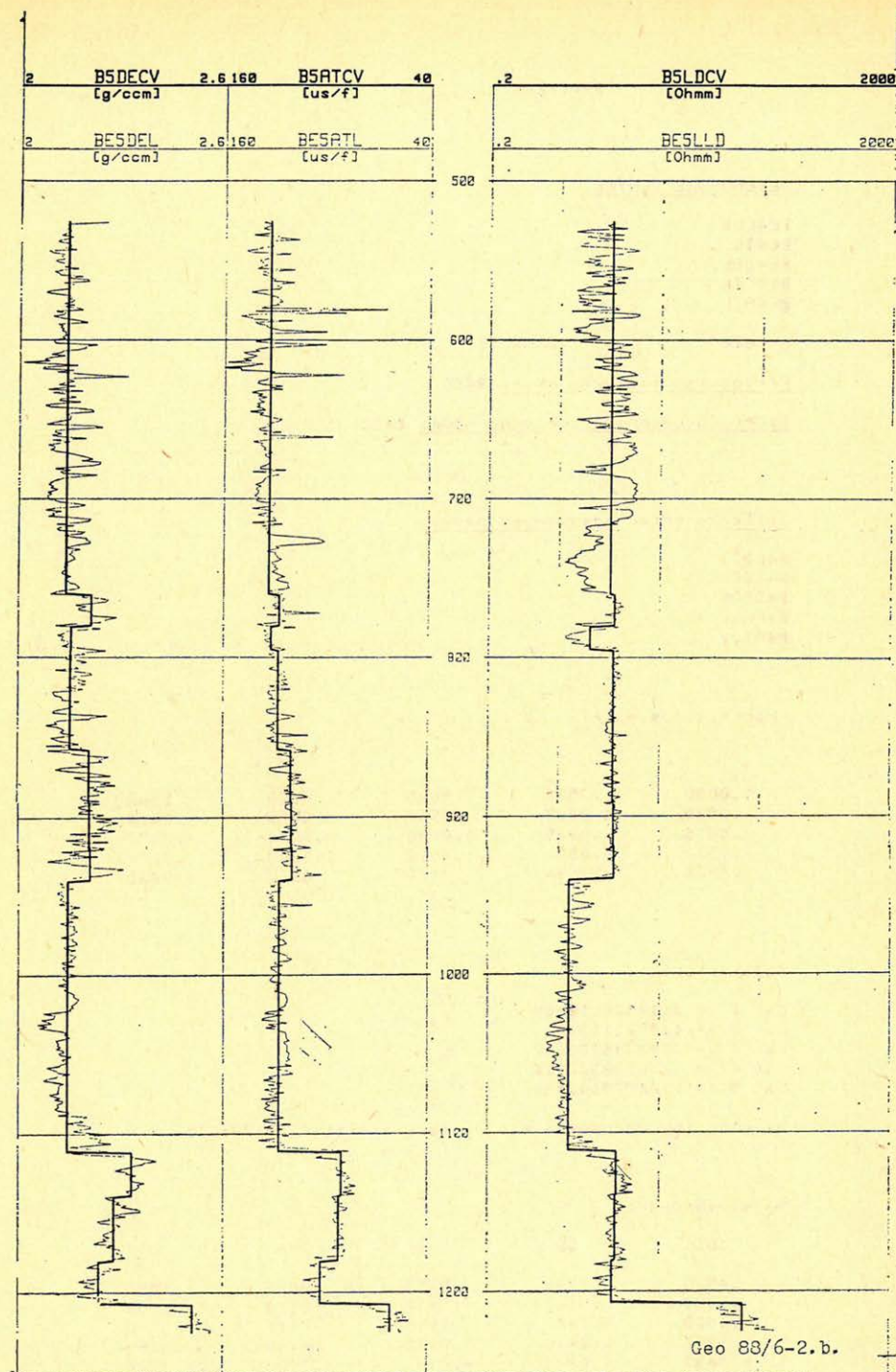
1.b. ábra  
Puc. 1. 6.  
Fig. 1.b.





2.a. ábra  
 Puc. 2. a.  
 Fig. 2.a.





Geo 88/6-2.b.

2.b. ábra  
Puc. 2. 6.  
Fig. 2.b.



BEMENŐ-SZELVENYEK

BE4LLD  
BE4TG  
BE4DEL  
BE4FIN  
BE4ATL

N= 620

Win= 15

Dg= 1

Reteghatar szelveny neve: B4B0Szürt főkomponens-szelveny neve: B4SC1Jellemző érték szelvények nevei:

B4LDCV  
B4TGCV  
B4DECV  
B4FNCV  
B4ATCV

## Korrelacios matrix

1.0000	.3530	.5695	-.6520	-.5902
.3530	1.0000	.0995	-.0072	-.1604
.5695	.0995	1.0000	-.8316	-.7172
-.6520	-.0072	-.8316	1.0000	.8262
-.5902	-.1604	-.7172	.8262	1.0000

## Sajátértékek:

La( 1 ) = 3.14576510965  
La( 2 ) = 1.0735119402  
La( 3 ) = .393745378842  
La( 4 ) = .280198922811  
La( 5 ) = .106778648452

Az első főkomponensre eső varianciarész: 62.915302193 %

## Sajátvektorok:

U1	U2	U3	U4	U5
.4525	.2794	-.8253	-.0003	.1898
.1369	.9108	.3430	.0580	-.1753
.4980	-.1640	.2998	.7116	.3590
-.5247	.2416	-.0183	.0189	.8159
-.5032	.0848	-.3331	.7000	.3724

Geo 88/6-3

3. ábra  
Puc. 3.  
Fig. 3



BEMENŐ-SZELVENYEK

BESLLD  
 BESATL  
 BESDEL  
 BESFIN  
 BESTG

N= 700

Win= 13

Dg= 1

Reteghatar szelvény neve: B5B0A legsűrűbb felbontású retegszelvény neve: B5SRHAz ugrásokat tartalmazó szelvény neve: B5UGSzűrt főkomponens-szelvény neve: B5SC1Jellemző érték szelvények nevei:

B5LDCV  
 B5ATCV  
 B5DECV  
 B5FNCV  
 B5TGCV

## Korrelációs matrix

1.0000	-.5289	.6238	-.6871	.
-.5289	1.0000	-.8430	.8223	.1577
.6238	-.8430	1.0000	.8653	-.0396
-.6871	.8223	-.8653	1.0000	.1725
.3246	.1577	-.0396	.1725	1.0000

## Sajátértékek:

La( 1 ) = 3.20235550022  
 La( 2 ) = 1.21472028184  
 La( 3 ) = .337515447752  
 La( 4 ) = .152196690196  
 La( 5 ) = .093212079938

Az első főkomponensre eső varianciaresz: 64.0471100044 %

## Sajátvektorok:

U1	U2	U3	U4	U5
.4322	.4322	.6804	-.2384	.3265
-.5048	.1688	.4665	.7064	-.0114
.5248	-.0368	-.3314	.6106	.4905
-.5314	.1161	-.1988	-.2638	.7714
-.0235	.8774	-.4125	.0421	-.2402

Geo 88/6-4

4. ábra  
 Puc. 4.  
 Fig. 4

Itt most álljunk meg egy pillanatra. Amit eddig bemutattunk, azok teljes mértékben egyenértékűek a nyugati szakirodalomban közölt megoldásokkal. Azonban eljutottunk egy olyan ponthoz, ahonnan már nem tudjuk teljes mértékben megvalósítani az I. részben leírtakat. A korlátozott szelvényválaszték miatt egyrészt a pókháló-diagramok sem lehetnek annyira „sokszögletűek”, másrészt pedig nagyfelbontású rétegdőlésmérés (HDT) hiányában, annak rendkívül sokatmondó eredményeit (GEODIP) is nélkülöznünk kell. Noha van Magyarországon rétegdőlés-mérő eszköz és értelmező program, a GEODIP által szolgáltatott színvonalú eredményekről mégis le kell mondanunk, mivel egyrészt kevés DIPLOG-mérés készül, másrészt a szonda felbontóképessége meg sem közelíti a HDT felbontását. Harmadsorban pedig az értelmező program sem képes azokra a műveletekre, amire a GEODIP (pl. alakfelismerés, finom rétegzettség mennyiségi jellemzése.) Mivel azonban úgy éreztük, hogy a faciesek jellemzése szempontjából elengedhetetlenül fontos a szerkezetet jellemezni, ezért egy áthidaló megoldást javasolunk a rétegzettség mennyiségi jellemzésére.

Bontsunk fel egy kutat nagy rétegtani egységekre. Jellemezzünk egy kiválasztott nagy réteget a benne levő vékony rétegek számával (a legfinomabb felbontáshoz tartozó rétegek számával). Normáljuk ezt a számot a rétegvastagsággal. Így kapunk egy olyan a rétegvastagságtól független számot, amely jellemzi egy nagyobb egység „rétegzettségét” és a rétegvastagságtól független (nevezzük ezt „rétegeaktivitásnak”).

Egy másik lehetőség is kínálkozik a rétegek jellemzésére. Hasonlóan az előbbi gondolatmenethez jellemezzünk egy nagy réteget a legfinomabb felbontáshoz tartozó rétegekkel, de a rétegek száma helyett az első főkomponens jellemző értékszelvény ugrásaival a réteghatárokon. (Emlékezzünk rá, hogy az input-szelvények első főkomponensét használja a rétegekre bontó program. A legfinomabb felbontás: minden csúc és völgy közötti inflexiós pont egy réteghatár; a főkomponens szelvény jellemző értéke: a rétegek közötti szelvényértékek extremuma.) Összegezzük az első főkomponens jellemző értékének ugrásait (abszolút értékben) a réteghatárokon. Ez tehát annyit jelent, hogy egy nagy réteget a benne levő vékony rétegek egymástól való eltéréseivel jellemezzünk (normálva a nagy rétegvastagságával). Ezt a számot nevezzük „amplitúdó aktivitásnak”. E két paraméter megállapításához célszerű a legjobb felbontóképességű szelvényeket felhasználni, mint pl. a mikrolaterologok. (5. ábra).

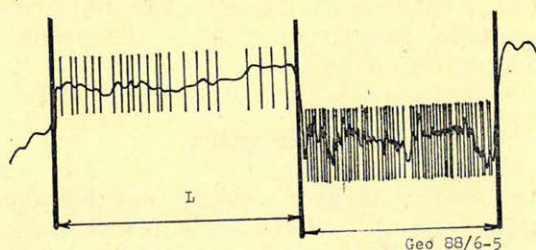
A pókdíagramokon az egyes szelvények rétegenkénti jellemző értéke mellett a rétegeaktivitás és az amplitúdóaktivitás is fel van tüntetve. A látható nevek jelentése a következő:

- *Rt* – elektromos ellenállás (Ohmm, logaritmikus)
- *FIN* – neutron porozitás (porozitás egységben)
- *SP* – természetes potenciál (mV)
- *DEL* – sűrűség (g/cm<sup>3</sup>)
- *AKTA* – amplitúdóaktivitás
- *ATL* – akusztikus (us/f)
- *TG* – természetes gamma (API egységben)
- *AKTR* – rétegeaktivitás

(Csak zárójelben jegyezzük meg, hogy az alapszelvényeket bemutató ábrákról jól látható, hogy az egyes kutakban a szelvényválaszték ugyanolyan. A karotázásban nem járatos ember számára is nyilvánvaló, hogy a bemutatott eljárás a legjobban akkor működik, ha az egyes kutakban a szelvényválaszték megegyezik.



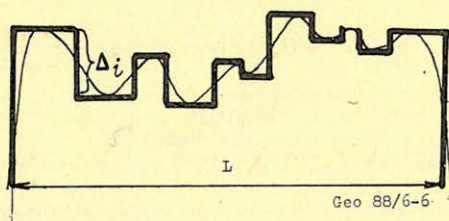
Ha kevés átfedés van a kutak szelvényezettsége között, akkor az eljárás megbízhatósága egyre romlik. Sajnos a magyar szelvényezési gyakorlatban főként a nem homogén szelvényválaszték a tipikus, így a feldolgozott kutak szelvényanyaga jobb az átlagosnál.)



5. ábra. Rétegaktivitás =  $\frac{N_r}{L} \times 100$  m, ahol  $L$  az aktuális vastagréteg hossza,  $N_r$  az  $L$  hosszúságú vastag rétegben levő vékony rétegek száma

Рис. 5. Активность слоя =  $\frac{N_r}{L} \cdot 100$  m где  $L$  — действительная длина мощного слоя,  $N_r$  — количество тонких прослоек в пределах мощного слоя длиной  $L$ .

Fig. 5. Layer activity =  $\frac{N_r}{L} \times 100$  m where  $L$  is the thickness of the current thick layer  $N_r$  is the number of thin layers in the current thick layer



6. ábra. Amplitúdóaktivitás =  $\frac{\sum_{i=1}^{N_r} \text{ABS}(\Delta_i)}{L}$  ahol  $\Delta_i$  az aktuális vastag réteg jellemző érték szelvény  $i$ -edik mélységpontban tapasztalható ugrásának nagysága

Рис. 6. Активность амплитуды =  $\frac{\sum_{i=1}^{N_r} \text{ABS}(\Delta_i)}{L}$  где  $\Delta_i$  — величина скачка значения характерного для действительного мощного слоя в глубинной точке  $i$ .

Fig. 6. Amplitudo activity =  $\frac{\sum_{i=1}^{N_r} \text{ABS}(\Delta_i)}{L}$  where  $\Delta_i$  the magnitude of a step of the characteristic value log in the current thick layer in the  $i$ -th depth point

Az 1., 2. ábrák segítségével, tekintetbe véve további szempontokat is, geológiai következtetések is levonhatók (üledékképződési környezetre következtetés, jelalakелеmzés stb.), amikhez azonban alapos geológiai, szedimentológiai ismeretek szükségesek. Ezért a szerző csak arra vállalkozhat, hogy megmutatja ennek a módszernek a lehetőségeit. Meggyőződésünk, hogy szedimentológiai, sztratifráiai szempontból hasznát vehetjük a bemutatott procedúrának, ha geológus és geofizikus együttműködik.

## Összefoglalás

Az elektrofációs-analízis magyar változatának legnagyobb problémája a szelvényezettség hiányos mivoltában keresendő. A kézi (vagy interaktív) elektrofációs-analízis bemutatott változata véleményünk szerint funkcionálisan képes arra, mint nyugati elődei. Az automatikus változatot még nem próbáltuk megvalósítani, mivel 1987-ig nem állt rendelkezésünkre olyan teljesítményű számítógép, amely erre reálisan képessé tehető lett volna. A világbanki beszerzésekből adódóan az elektrofációs azonosításának automatizálása elérhetővé vált. Ennek jelentősége nem annyira az automatizmus, 'elegánsabb' mivoltában van (mivel véleményünk szerint a procedura nem is automatizálható teljes mértékben), hanem abban, hogy az új számítógépünkkel olyan funkciók is megvalósíthatónak tűnnek (pl. mesterséges intelligenciák alkalmazása), amelyek nemcsak megkönnyítik az értelmezők dolgát, hanem olyan állítások megfogalmazását is lehetővé teszik, amelyekre eddig alig volt mód (pl. értelmezés előtti, gyors litológiai becslés). A jövőben ezeknek a módszereknek a bevetését is szeretnénk megvalósítani.

## IRODALOM

- [1] Serra, O. and Abbot, H. T.: The contribution of Logging Data to Sedimentology and Stratigraphy 1982, SPE 9270
- [2] Proc. Schlumberger Well Evaluation Conference, Algiers 1979
- [3] Vincent, P., Gartner, J. E. and Attali, G.: GEODIP: An approach to Detailed Dip Determination Using Correlation by Pattern Recognition; SPE 6823, 1977
- [4] Wolf, M. and Pelissier-Combescure, J.: FACIOLOG — automatic electrofacies determination; SPWLA 1982.
- [5] Serra, O.: Sedimentary environments from wireline logs; Schlumberger kiadvány, 1985.
- [6] Elek István: A főkomponens-analízis néhány mélyfúrási geofizikai alkalmazása (kutak közti korreláció, karottázsszelvények rétegekre bontása); Magyar Geofizika, 1986. 1. sz.
- [7] Bigelow, E.: Fundamentals of DIPLOG analysis; Dresser Atlas kiadvány, 1987.
- [8] Elek István: A főkomponens-analízis alkalmazási lehetőségei az elektrofációs azonosításában; SZKF1 Műszaki Tudományos Közleményei, 1987. június, 2. sz.



# A magnetotellurikus térösszefüggések fizikai jelentéséről

SZARKA LÁSZLÓ\*

A magnetotellurika egyszerű kétréteges összefüggései lehetővé teszik az elektromágneses térkomponensek és az impedancia egyszerű bemutatását a féltér belsejében. Érzékeltethető a skinhatás mechanizmusa, kimutatható a  $\rho_2/\rho_1 = 100$  és  $\rho_2/\rho_1 = 0,01$  ellenállás-kontrasztal jellemzett kétréteges féltérmodellek impedanciaszelvényeinek szoros kapcsolata. A frekvenciaszondázási görbékben mutatkozó túllövésnek valós, fizikai oka van. A behatolási mélység által sugallt leegyszerűsített koncepcióval szemben hangsúlyozzuk, hogy a tértorzulás a réteghatárról kiindulva halad a  $\lambda/h$  növelésével egyre feljebb, egészen a felszínig. A felszíni impedanciából tetszőlegesen definiálható többféle látszólagos fajlagos ellenállás közül az impedancia valós részét alapul vevő meghatározás a legjobb. A felszíni impedancia szoros kapcsolatban van a mélybeli áramrendszerrel: az impedancia valós része a felszíni mágneses tér fázisához képest  $90^\circ$ -kal eltolt fázisú áramrendszer súlypontjának mélységével arányos, a képzetes része pedig a felszíni mágneses térrel azonos fázisú áramrendszer súlypontjának mélységét írja le. Amíg a látszólagos fajlagos ellenállás – definíciótól függően – valamelyik áramrendszer súlypontmélységét tükrözi, addig a magnetotellurikus fázis tangense a két áramrendszer súlypontmélységének arányát fejezi ki. Oszcillációmentes látszólagos fajlagos ellenállási görbe csak időtartományban adható meg.

Простые двухслойные зависимости магнитотеллурики обеспечивают возможность нового представления электромагнитных компонентов поля и импедансии во внутренней части полупространства. Может быть показан механизм скин-эффекта, а также тесная взаимозависимость охарактеризованных посредством контраста сопротивлений разрезов импедансии двухслойный пространственных моделей  $\rho_2/\rho_1 = 100$  и  $\rho_2/\rho_1 = 0.01$ . Появляющийся на кривых частотного зондирования перелет имеет объективное физическое объяснение. В связи с упрощенной концепцией глубины внедрения следует заметить, что с увеличением  $\lambda/h$  искажение пространства начиная с границы слоя распространяется все выше вплоть до самой поверхности. Среди различных кажущихся удельных сопротивлений, которые могут быть определены на основе поверхностной импедансии, самым лучшим является определение, основой которого является действительная составляющая импеданции. Поверхностная импеданция находится в тесной зависимости от системы глубинных токов: действительная составляющая импеданции пропорциональна глубине центра системы тока, фаза которого на  $90^\circ$  отличается от фазы поверхностного магнитного поля; воображаемая часть соответствует глубине центра системы тока, фаза которого совпадает с фазой поверхностного магнитного поля. Кажущееся удельное сопротивление в зависимости от определения соответствует глубине центра одной из систем тока, а тангенс магнитотеллурической фазы пропорционален глубине центра обеих систем тока. Кривая кажущегося удельного сопротивления без осцилляции может быть задана только по времени.

Behaviour of electromagnetic field components and the impedance inside the two-layered half-space is shown by analytical formulas. Using these relations the mechanism of the skin-effect and a close correlation between the two two-layered half-space models  $\rho_2/\rho_1 = 100$  and  $\rho_2/\rho_1 = 0,01$  are demonstrated. „Overshootings” appearing at frequency sounding curves have real physical origin. In contrast to the oversimplification of the „penetration depth”-conception, the upward going of the field distortion from the layer boundary by increasing  $\lambda/h$  is emphasized. Among several apparent resistivities which can be arbitrary defined from the surface impedance  $Z$ , the apparent resistivity based on  $\text{Re } Z$  has been proven to be the best one. The surface impedance has been found to be in a close physical relation with the subsurface current system: its real part is proportional to the depth of weight-point of currents flowing out-of-phase to the surface magnetic field, while in  $\text{Im } Z$  the depth of weight-point of inphase currents is reflected. Depending on its definition the apparent resistivity reflects some function of inphase and/or out-of-phase current depths, and the magnetotelluric phase tangent is determined by the ratio of the two current depths. Oscillation-free sounding curves in the frequency-domain cannot be defined.

\* MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet, Sopron



## Bevezetés

Az elektromágneses kutatási módszerekkel kapcsolatban napjainkra számos ellentmondás halmozódott fel. A nemzetközi szakirodalomban éles viták folynak a korábban már megoldottnak, sőt túlhaladottnak hitt kérdésekről (pl. ilyen a magnetotelluriában az áramcsatornázódás problémája, vagy újabban a frekvenciaszondázási görbéknek magnetotellurikus görbévé való áttranszformálhatósága, de említhetnénk az egyes mesterséges frekvenciaszondázási módszerek felbontóképeségét boncolgató tanulmányokat is).

A problémák gyökere véleményem szerint az, hogy az új terepi és értelmező eljárások előbb kerülnek terepi alkalmazásra (s ott a kitalálók által végzett kísérletek során rendszerint terepi igazolást nyernek), mint ahogyan a legalapvetőbb elméleti kérdések megnyugtatóan tisztázva lennének. Az üzleti verseny miatt aztán az elektromágneses módszereket hosszú ideig terhelik kiforratlan definíciók és elnagyolt elméleti problémák következményei, amelyek a tisztánlátást, végső soron a módszerek természetes önfejlődését jelentősen hátráltatják.

Az elektromágneses térösszefüggéseknek többnyire csak a geofizikai problémára levezetett formájával találkozunk, az érvényesség feltételeit, sőt a fizikai jelenségek lényegét eléggé elnagyoltan vizsgáljuk. A fizikai jelenségek teljes megértése nem lehetséges anélkül, hogy ne ismernénk az elektromágneses teret a felszín alatti pontokban is.

Ebben a dolgozatban legegyszerűbb összefüggésekkel leírható magnetotellurikus kutatási módszert vesszük szemügyre, ráadásul a tanulmány a legegyszerűbb rétegzett félterek vizsgálatára korlátozódik. Remélhető azonban, hogy az új eredmények bemutatása mellett a már jól ismertnek tartott jelenségek újszerű összefoglalása sem lesz haszontalan.

A dolgozatban a magnetotellurika kétréteges összefüggéseinek áttekintése után elemezzük a térerősség-komponensek, valamint az impedancia amplitúdó- és fázisszelvényeit, megvizsgáljuk a felszíni impedancia tulajdonságait. Összefüggést állítunk fel a mélyben folyó áramrendszer és a felszíni impedancia között, s foglalkozunk a látszólagos fajlagos ellenállások definícióival és az elektromágneses fázis értelmezésével. A tanulmányban felhasznált legalapvetőbb összefüggések levezetése a függelékben található meg.

## A magnetotellurika kétréteges összefüggései

Vízszintesen rétegzett közegben, a függőlegesen lefelé,  $z$  irányban terjedő harmonikus síkhullám esetén csak az  $E_x$  és a  $H_y$  térkomponenseket kell figyelembe venni. Az  $E_x$  és a  $H_y$  helytől és időtől függő tényezők szorzatára bontható:

$$E_x(z, t) = |E_x(z)|e^{-i\omega t} \quad (1)$$

$$H_y(z, t) = |H_y(z)|e^{-i\omega t} \quad (2)$$

A helyfüggő tagoknak a Maxwell-egyenletekbe történő behelyettesítése az alábbi egyenletekhez vezet (Renner *et al.*, 1969):

$$\frac{d^2 E_x(z)}{dz^2} + \sigma\mu\omega i E_x(z) = 0, \quad (3)$$

$$H_y(z) = \frac{1}{i\omega\mu} \frac{dE_x(z)}{dz} \quad (4)$$



A (2) differenciálegyenlet  $\ddot{x} - k^2 x = 0$  típusú, amelynek általános megoldása az  $e^{-kz}$  és  $e^{kz}$  függvények lineáris kombinációja, ahol

$$k^2 = -i\omega\mu\sigma \quad (5)$$

(A  $k$  értékére nézve ld. az 1. függelék.)

A differenciálegyenlet megoldásaként a felső (1.) és alsó (2.) rétegben  $E_x$ -re és  $H_y$ -ra az alábbi összefüggések adódnak:

$$E_x^{(1)} = A_1 e^{-k_1 z} + B_1 e^{k_1 z} \quad (6)$$

$$H_y^{(1)} = -\frac{k_1}{i\omega\mu} (A_1 e^{-k_1 z} - B_1 e^{k_1 z}) \quad (7)$$

$$E_x^{(2)} = A_2 e^{-k_2 z} + B_2 e^{k_2 z} \quad (8)$$

$$H_y^{(2)} = -\frac{k_2}{i\omega\mu} A_2 e^{-k_2 z} + \frac{k_2}{i\omega\mu} B_2 e^{k_2 z} \quad (9)$$

Az  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  együtthatók meghatározásához a következő határfeltételeket kell figyelembe venni:

1. Végtelen mélységben  $E_x$ -nek és  $H_y$ -nak is nullához kell tartani, tehát  $\lim_{z \rightarrow \infty} E_x = \lim_{z \rightarrow \infty} H_y = 0$ , emiatt  $B_2 = 0$ . A továbbiakban a  $B_2$ -t elhagyjuk.

2. A  $h$  mélységű réteghatáron  $E_x$  folytonos:

$$A_1 e^{-k_1 h} + B_1 e^{k_1 h} = A_2 e^{-k_2 h} \quad (10)$$

3. A réteghatáron  $H_y$  is folytonos:

$$-k_1 (A_1 e^{-k_1 h} + B_1 e^{k_1 h}) = -k_2 A_2 e^{-k_2 h} \quad (11)$$

4. Feltételezzük, hogy  $H_y$  a felszínen egységnyi és valós (azaz minden amplitúdót és fázist  $H_y(0)$ -hoz viszonyítunk):

$$-\frac{k_1}{i\omega\mu} (A_1 e^{-k_1 0} - B_1 e^{k_1 0}) = 1 \quad (12)$$

A feltételek által meghatározott egyenletrendszerből  $A_1$ ,  $B_1$  és  $A_2$  egyszerűen levezethető:

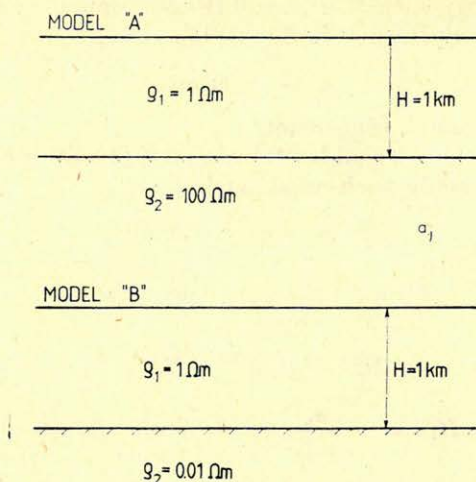
$$A_1 = \frac{-i\omega\mu e^{k_1 h} (1 + k_2/k_1)}{2(k_1 \operatorname{ch} k_1 h + k_1 \operatorname{sh} k_1 h)} \quad (13)$$

$$B_1 = A_1 + \frac{i\omega\mu}{k_1} \quad (14)$$

$$A_2 = 2A_1 e^{k_2 h} \operatorname{ch} k_1 h + \frac{i\omega\mu}{k_1} e^{(k_1 + k_2)h} \quad (15)$$

$A_1$ ,  $B_1$  és  $A_2$  ismeretében  $E_x^{(1)}$ ,  $E_x^{(2)}$ ,  $H_y^{(1)}$  és  $H_y^{(2)}$  könnyen kiszámítható.

A térerősség-komponenseket, valamint a belőlük származtatott impedanciát az 1. ábrán bemutatott kétréteges féltérmodellekre elemezzük. A nagyellenállású ( $A$  modell) és nagy vezetőképességű ( $B$  modell) aljzattal bíró modellek fölött a jól ismert látszólagos fajlagos ellenállás- és fázisgörbéket a 2. ábra mutatja be.



1. ábra. Kétréteges féltérmodellek  $\rho_1 = 1 \Omega \text{ m}$ ,  $h = 1 \text{ km}$  a) A modell: nagyellenállású aljzat,  $\rho_2/\rho_1 = 100$ , b) B modell: nagy vezetőképességű aljzat,  $\rho_2/\rho_1 = 0,01$

Рис. 1. Двухслойные модели полупространства  $\rho_1 = 1 \Omega \text{ м}$ ,  $h = 1 \text{ км}$   
 а) модель А: основание с большим сопротивлением  $\rho_2/\rho_1 = 100$   
 б) модель Б: основание с большой проводимостью  $\rho_2/\rho_1 = 0,01$

Fig. 1. Two-layered half-space models, where  $\rho_1 = 1 \Omega \text{ m}$ ,  $h = 1 \text{ km}$ , a) Model A: high-resistivity basement,  $\rho_2/\rho_1 = 100$ , b) Model B: high-conductivity basement,  $\rho_2/\rho_1 = 0.01$

### A térerősségek mélységsvélvényei

Az elektromos térkomponens abszolút értékeit a 3. és 4., fázisait az 5. és 6. ábra mutatja. A mágneses térkomponens hasonló mennyiségei a 7–8., illetőleg a 9–10. ábrán láthatók.

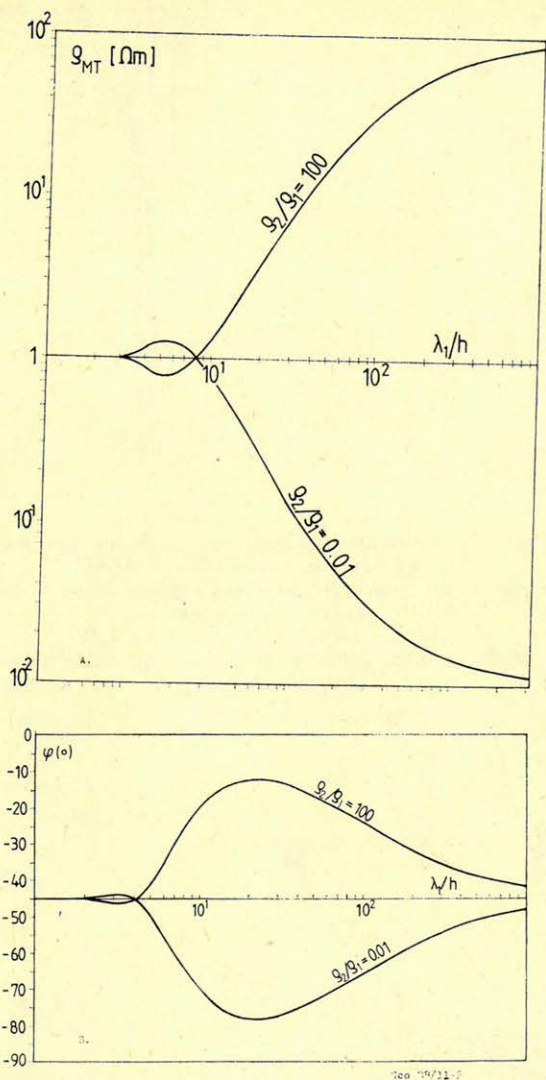
Az abszolút értékek mélységsvélvényeinek tulajdonságai az alábbiak:

- A csillapodás a vezetőképességgel (annak négyzetgyökével) arányos (nagy vezetőképességű rétegben erős csillapodás van, a nagyellenállású rétegben alig van csillapodás).
- $H_y$  a réteghatáron megtörik,  $E_x$ -nek a rétegtámenet előtt a  $\lambda_1/h$  értékétől függő görbülete van ( $\lambda_1$  definíciója a 2. függelékben található).
- A  $j_x$  áramsűrűségnek ( $j_x(z) = \sigma(z) E_x(z) = -\frac{\partial H_y(z)}{\partial z}$ , ld. 3. függelék) a réteghatáron szakadása van. (Az A modell esetében az áram felső rétegben koncentrálódik, a B modellben az áram jelentős része az aljzatban folyik.)

A fázisokat bemutató ábrák már nem ennyire közismertek:

- A B modellhez tartozó kisperiódusú fázissvélvények rávilágítanak a skinhatás mechanizmusára: a jólvezető aljzatban az elektromos és mágneses térkomponensek fázisa, következésképpen az áramsűrűség fázisa annyira gyorsan változik, hogy kis mélységintervallumon belül mindenféle fázisú áramsűrűség előfordul, így az eredőjük a mélység mentén gyorsan eltűnik.

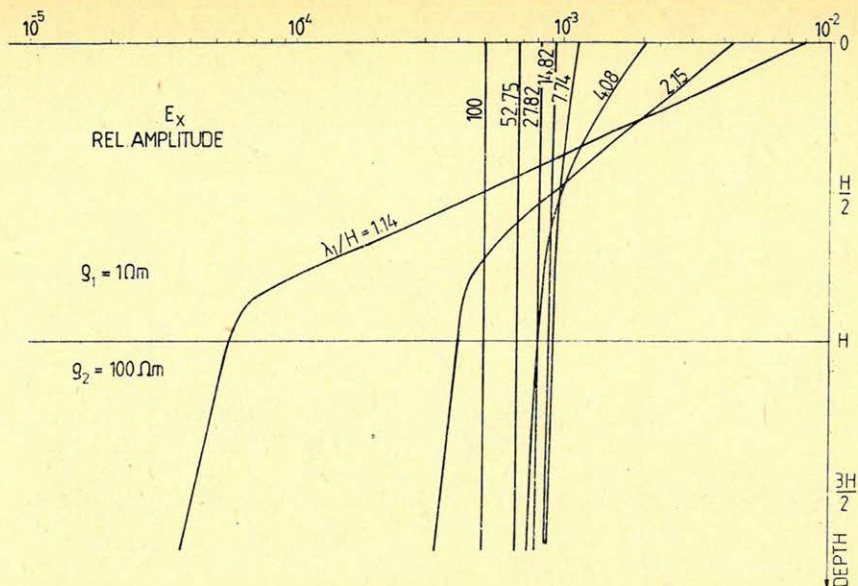




2. ábra. Az 1. ábra modelljei fölött számított elméleti MT-görbék a) Cagniard-képlettel számított látszólagos fajlagos ellenállás, б) fázis

Рис. 2. Теоретические магнитотеллурические кривые, вычисленные над моделями рис. 1: а) кажущееся удельное сопротивление, вычисленное по формуле Канаярда, б) фаза

Fig. 2. Theoretical MT curves calculated over models shown in Fig. 1. a) Apparent resistivity curves, calculated by Cagniard's definition, б) phase

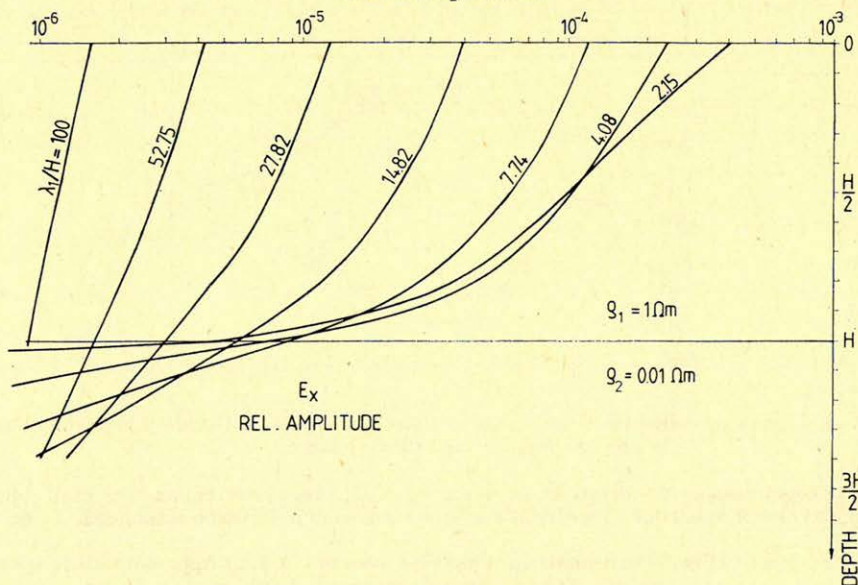


3. ábra. A vízszintes elektromos térkomponens abszolút értékének mélységsvénye az A modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 3. Глубинный разрез абсолютного значения горизонтальной составляющей электрического поля на модели

А) при нескольких значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 3. Depth profile of the absolute value of the horizontal electric field component in model A, at several  $\lambda_1/h$  values



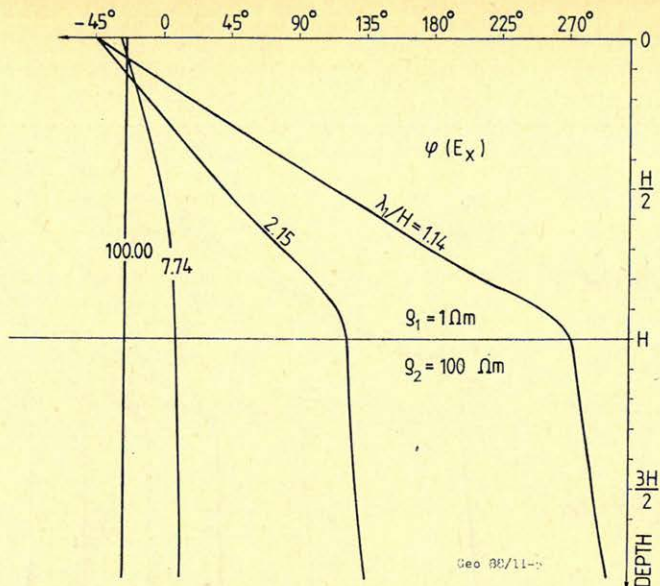
4. ábra. A vízszintes elektromos térkomponens abszolút értékének mélységsvénye a B modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 4. Глубинный разрез абсолютного значения горизонтальной составляющей электрического поля на модели

Б) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 4. Depth-profile of the absolute values of the horizontal electric field component in model B, at several  $\lambda_1/h$  values

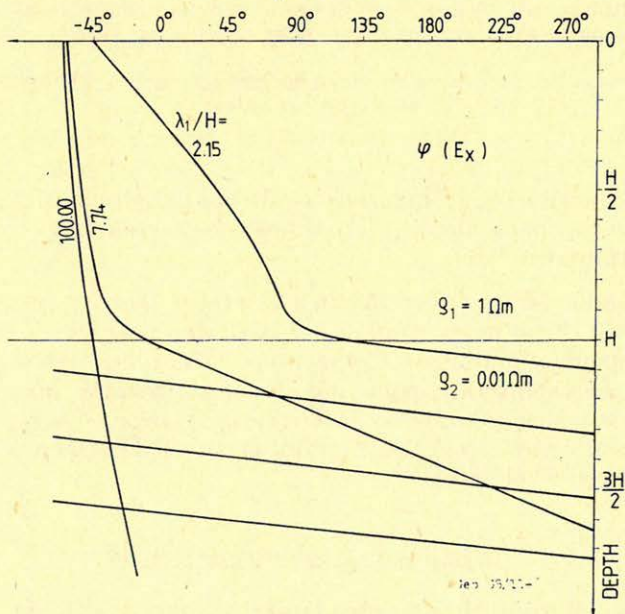




5. ábra. A vízszintes elektromos térkomponens fázisának mélységsvénye az A modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 5. Глубинный разрез фазы горизонтальной составляющей электрического поля на модели А) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

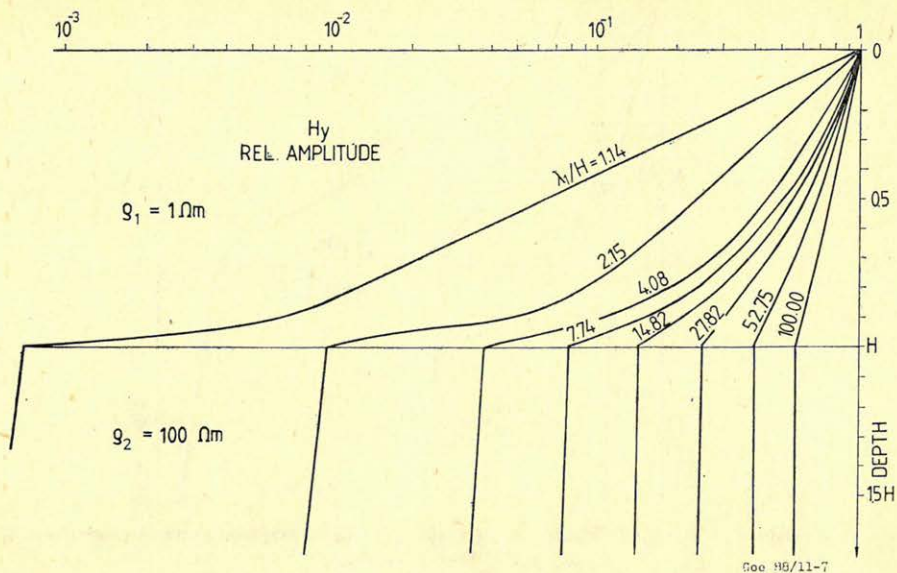
Fig. 5. Depth-profile of the phase of the horizontal electric field component in model A, at several  $\lambda_1/h$  values



6. ábra. A vízszintes elektromos térkomponens fázisának mélységsvénye a B modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 6. Глубинный разрез фазы горизонтальной составляющей электрического поля на модели Б) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 6. Depth profile of the phase of the horizontal electric field component in model B, at several  $\lambda_1/h$  values



7. ábra. A vízszintes mágneses térkomponens abszolút értékének mélységsvénye az  $A$  modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 7. Глубинный разрез абсолютного значения горизонтальной составляющей магнитного на модели  $A$ ) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 7. Depth profile of the absolute values of the horizontal magnetic field component in model  $A$ , at several  $\lambda_1/h$  values

- Az  $A$  modellben a mélység menti fázisváltozás annyira kicsiny, hogy bármely térerősség-komponens, illetőleg az áramsűrűség csak nagyon mélyen válik ellentétes irányúvá.

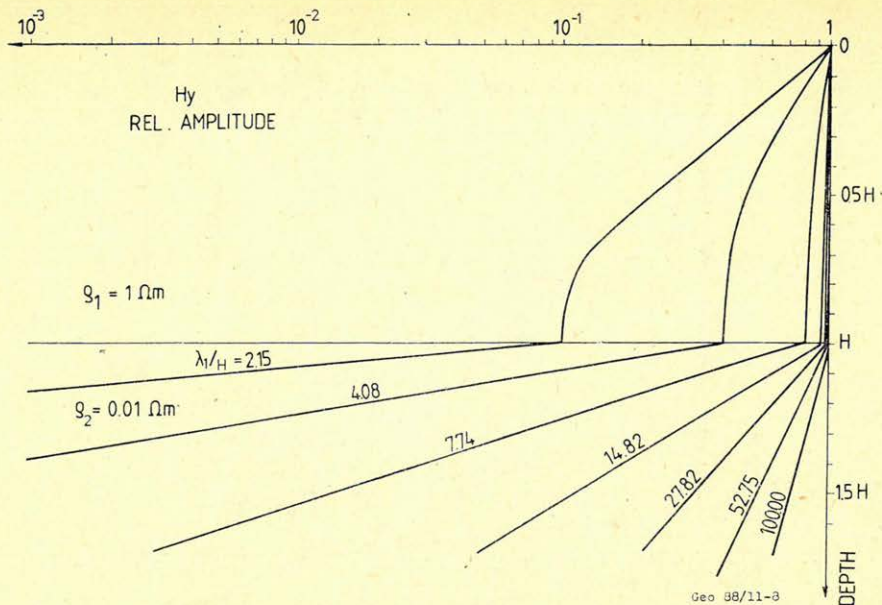
Az amplitúdó- és fázisszelvényekből egyaránt látszik, hogy amikor a tér frekvenciája még olyan nagy (amikor a  $\lambda_1/h$  értéke még olyan kicsiny), hogy a klasszikus értelemben számított úgynevezett behatolási mélység nem éri el a réteghatárt, a mélybeli térkomponensek abszolút értékei és fázisai már jelentős torzulást szenvedtek. A különböző  $\lambda_1/h$ -hoz tartozó görbéket vizsgálva úgy tűnik, hogy minden változás a réteghatárról indul el, s terjed aztán a periódusidő (illetőleg a  $\lambda_1/h$ ) növelésével felfelé.

### Az impedancia mélységsvényei

A magnetotellurikus értelmezés alapját az impedancia (ld. 4. függelék) képezi. Az impedancia abszolút értékeit a 11. és 12., fázisait (ld. 5. függelék) a 13. és 14. ábrák mutatják. A lényegesebb sajátosságok a következők:

- A réteghatár alatt az impedancia abszolút értéke konstans, fázisa  $45^\circ$ . Ez annak a következménye, hogy az alsó féltérben nincs reflektált tér, csak lefelé haladó csillapodó hullámok léteznek.



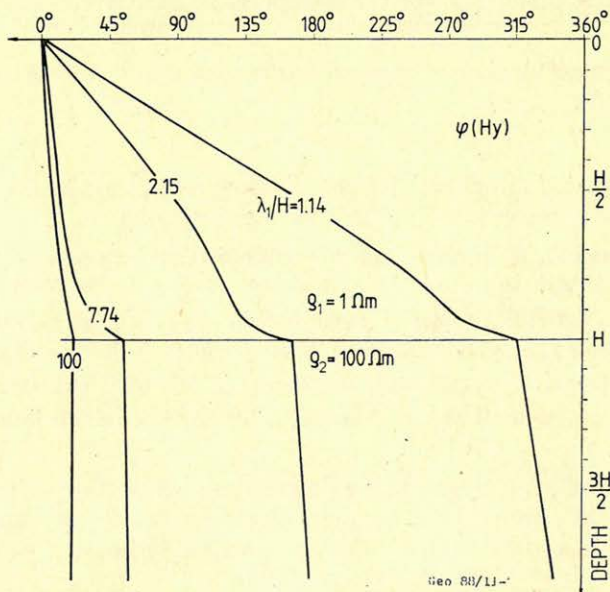


8. ábra. A vízszintes mágneses térkomponens abszolút értékének mélységsvénye a B modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 8. Глубинный разрез абсолютного значений горизонтальной составляющей магнитного поля на модели

Б) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 8. Depth profile of the absolute value of the horizontal magnetic field component in model B, at several  $\lambda_1/h$  values

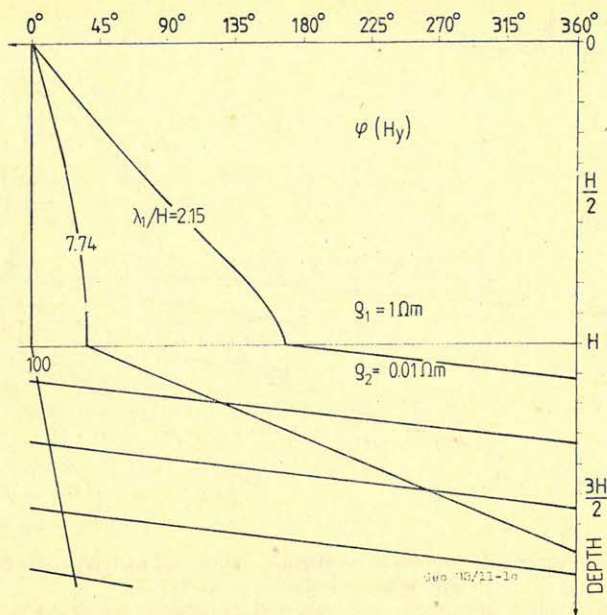


9. ábra. A vízszintes mágneses térkomponens fázisának mélységsvénye az A modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 9. Глубинный разрез фазы горизонтальной составляющей магнитного поля на модели

А) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 9. Depth profile of the phase of the horizontal magnetic field in model A, at several  $\lambda_1/h$  values



10. ábra. A vízszintes mágneses térkomponens fázisának mélységszelvénye a  $B$  modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

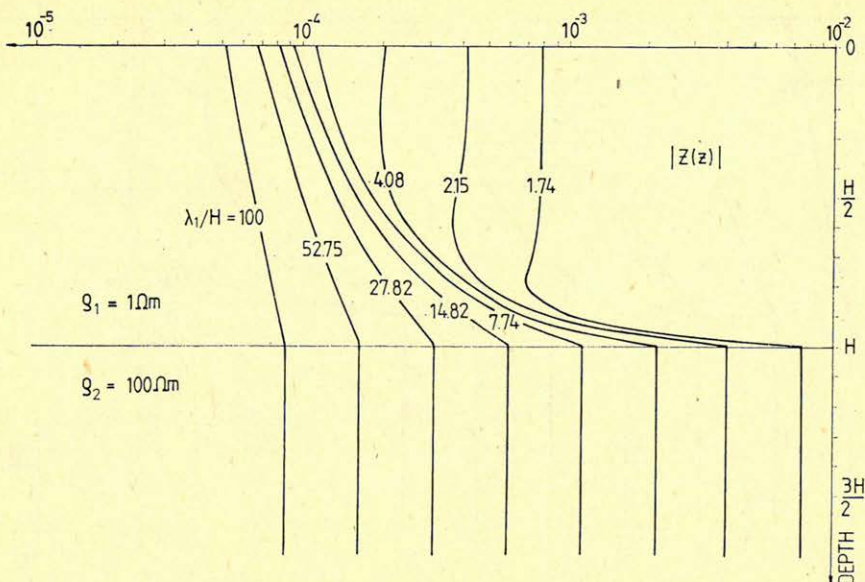
Рис. 10. Глубинный разрез фазы горизонтальной составляющей магнитного поля на модели  $B$ ) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 10. Depth profile of the phase of the horizontal magnetic field in model  $B$ , at several  $\lambda_1/h$  values

- A felső és az alsó rétegbeni abszolút értékek aszimptotikus értékeinek hányadosa a  $\rho_2/\rho_1$  vezetőképességekkontraszt négyzetgyöke.
- Az alsó rétegben az impedancia abszolút értéke a periódus négyzetgyökével fordított arányosságban van. Ugyanilyen arányosság áll fenn a felső rétegben, kicsiny  $\lambda_1/h$  értékek esetén. A periódusidő (vagy a  $\lambda_1/h$ ) növelésével az  $1/\sqrt{T}$ -szerű csökkenés nagyellenállású esetben ( $A$  modell) lefejeződik, kisellenállású esetben ( $B$  modell) felgyorsul, míg nem  $\sqrt{T} \rightarrow \infty$  felé (ezt az ábrák már nem mutatják) ismét beáll az  $1/\sqrt{T}$ -szerű, a homogén terekre jellemző csökkenési ütem.
- Azonos ellenálláskontraszttal rendelkező nagyellenállású és nagy vezetőképességű aljzattal jellemzett kétréteges modellek esetén (pl. ha  $\rho_2/\rho_1 = 100$  és  $\rho_2/\rho_1 = 0.01$ ) az impedanciáknak az azonos  $\lambda_1/h$ -hoz tartozó mélységszelvényeit ugyanolyan alakú függvények írják le:
  - az azonos  $\lambda_1/h$ -hoz tartozó  $|Z|^A$  és  $|Z|^B$  amplitúdó-mélységgörbék az ábrák egyikének  $180^\circ$ -os megfordításával és egyenkénti eltologatásával páronként fedésbe hozhatók:

$$\lg |Z|^A + \lg |Z|^B = -3 \lg e - \lg (\lambda_1/h)$$





11. ábra. Az impedancia abszolút értékének mélység-szelvénye az  $A$  modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

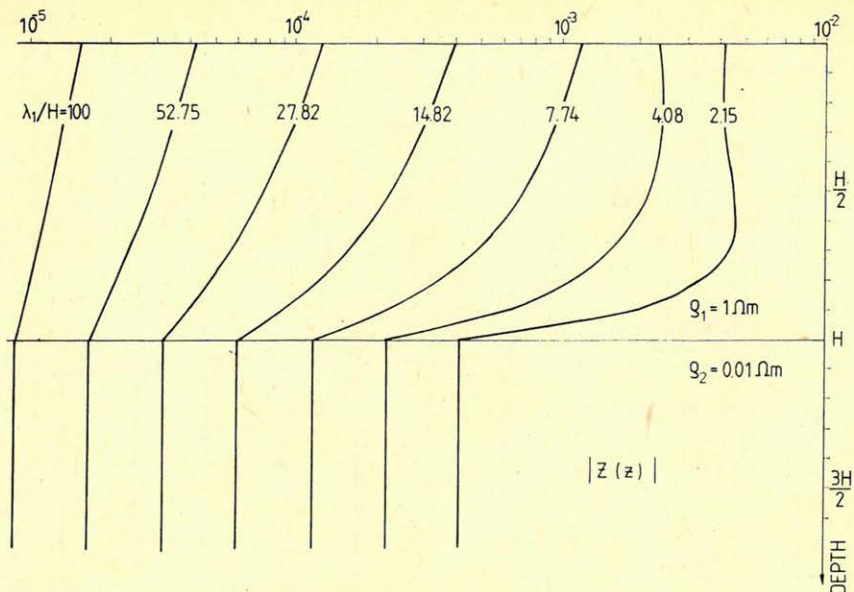
Рис. 11. Глубинный разрез абсолютного значения импеданции на модели  $A$ ) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig.11. Depth-profile of the absolute value of the impedance in model  $A$ , at several  $\lambda_1/h$  values

– a fázisgörbék  $45^\circ$ -ra nézve tökéletes szimmetriát mutatnak, az azonos  $\lambda_1/h$ -hoz tartozó  $\varphi_z^A$  és  $\varphi_z^B$  görbepárok egymásnak tökéletes tükörképei:

$$|\varphi_z^A| + |\varphi_z^B| = 90^\circ.$$

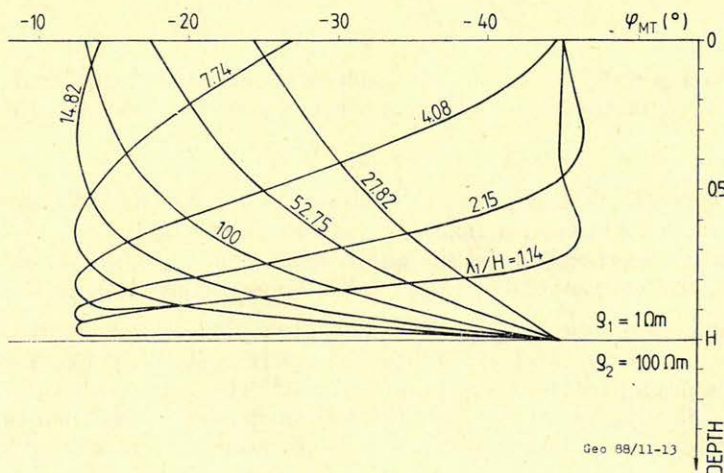
- A fázisgörbéknek a szimmetrián túlmutató érdekes tulajdonsága, hogy egy adott modell esetében a fázis szélső értéke (amely helye a  $\lambda_1/h$  változásával különböző mélységben lehet) adott érték, pl.  $\varrho_2/\varrho_1 = 100$  esetén  $77.5^\circ$ ,  $\varrho_2/\varrho_1 = 0.01$  esetén  $12.5^\circ$ ). Ugyanez érvényes a fázisgörbe „túllövési”-re is.
- Megfigyelhető, hogy a  $\lambda_1/h$  növekedésével végbemenő fázisváltozás nem más, mint a legkisebb  $\lambda_1/h$ -hoz tartozó fázis-mélység-szelvény felfelé helyeződése. Ez különösen jól látható a maximális fáziseltérés, valamint a túllövések helyének a  $\lambda_1/h$  függvényében felfelé történő mozgásán. A felszínen tapasztalható jellegzetességek valamely kisebb  $\lambda_1/h$  esetén a mélyben már mind lejátszódtak.
- A maximális fáziseltérés helyére fennáll az alábbi összefüggés:  $(h-z)^2/T = C$ , ahol  $C$  csakis a vezetőképesség-kontraszttól függő konstans. A túllövések helyére is hasonló jellegű összefüggés írható fel.
- Az összes eddigi jelenség alapja, hogy az eredő tér bármely felszíni és mélybeli pontban a függőlegesen lefelé haladó, valamint a réteghatárról visszaverődő, felfelé haladó és eközben exponenciálisan csillapodó hullámok szuperpozí-



12. ábra. Az impedancia abszolút értékének mélységsvénye a B modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 12. Глубинный разрез абсолютного значения импеданции на модели Б) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 12. Depth-profile of the absolute value of the impedance in model B, at several  $\lambda_1/h$  values

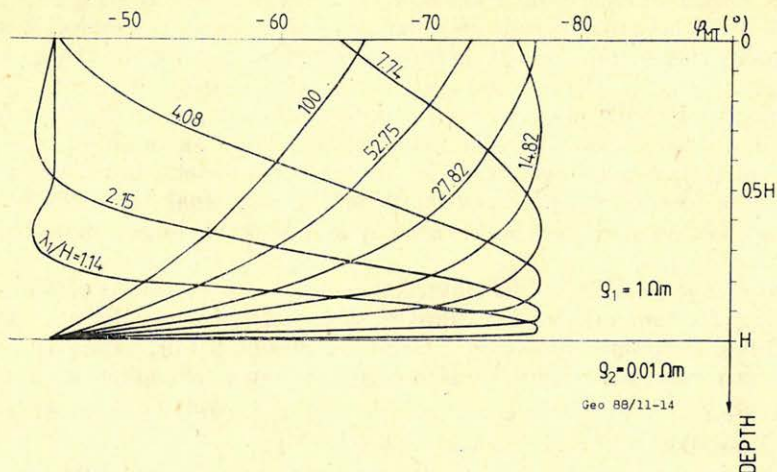


13. ábra. Az impedancia fázisának mélységsvénye az A modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 13. Глубинный разрез фазы импеданции на модели А) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 13. Depth-profile of the phase of the impedance in model A, at several  $\lambda_1/h$  values





14. ábra. Az impedancia fázisának mélységsvlervénye a B modellben, a  $\lambda_1/h$  néhány különböző értékénél

Рис. 14. Глубинный разрез фазы импеданции на модели Б) при нескольких различных значениях  $\lambda_1/h$

Fig. 14. Depth-profile of the phase of the impedance in model B, at several  $\lambda_1/h$  values

ciója, ami ugyan rendkívül bonyolult módon írható le, de kétségtelen, hogy a primér és szekunder hullámok eredője hozza létre a maximális fáziseltérést és a túllövést is. (Nem igaz tehát *Spies* és *Eggers* (1986) már-már elfogadott állítása, miszerint a „túllövés” kizárólag a látszólagos fajlagos ellenállás-számítás során fellépő mesterséges eredetű jelenség.)

- Kinyomozható, hogy a skinmélységből (l. 6. függelék) (amely mélységben az elektromágneses tér abszolút értéke a felszíni érték  $e$ -ad részére csökken) a gyakorlati szakemberek, közöttük a geofizikusok közvetítésével lett „behatolási mélység”, ami már nevében is azt sugallja, hogy az elektromágneses tér csak bizonyos mélységig hatol le. A 3–14. ábrák bizonyítják, hogy a réteghatár hatásai már a felső réteg vastagságánál sokkal kisebb „behatolási mélység” esetében megvannak, s a mély réteghatár nem a „behatolási mélység növekedése” által, hanem a réteghatárról kiinduló tértorzulásoknak a periódusidő következtében történő felszínre jutása eredményeként válik érzékelhetővé.

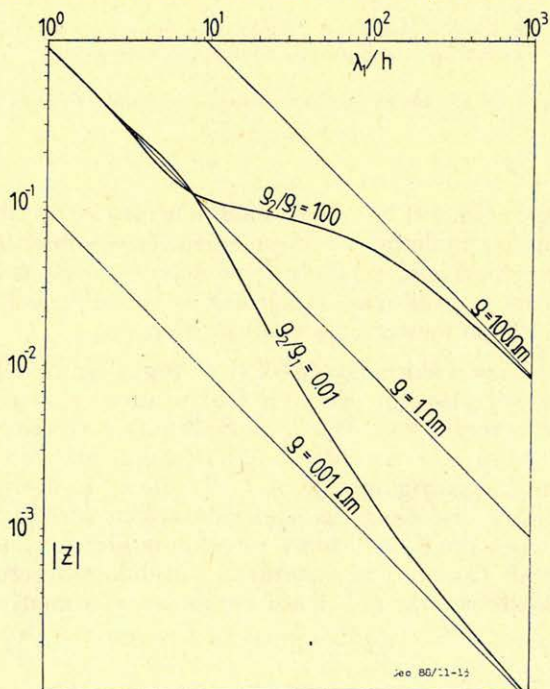
### A felszíni impedancia kapcsolata a látszólagos fajlagos ellenállással

A  $\rho_2/\rho_1 = 100$ -hoz és  $\rho_2/\rho_1 = 0.01$ -hez tartozó felszíni impedanciák abszolút értékét a  $\lambda_1/h$  függvényében a 15. ábra mutatja. Látható, hogy a két kétréteges görbe a  $\rho = 1 \Omega$  m-es féltérre jellemző egyenestől egymás kölcsönös metszésével válik el. (Íme, még egy bizonyíték a „túllövés” természetes eredetére nézve.) Hasonló jelenség mutatkozik a 2. ábra fázisgörbéjén is.

A 16. ábrán az impedancia valós és képzetes részének  $\lambda_1/h$ -függő változását mutatjuk be. A látszólagos fajlagos ellenállás-számításoknál a mérési eredményeket definíciószerűen mindig egy homogén feltér fölé vonatkoztatjuk. Homogén feltér fölött  $|Im Z| = |Re Z|$ , ami a 16. ábrán  $45^\circ$ -os egyenest jelent. A rétegzett feltér impedanciájától (amely  $H = 1 + i \cdot 0$  feltétel mellett  $Z = Re E + i Im E$ -nek adódik, ld. 7. függelék), amikor azt óhajtjuk, hogy az mindig a  $45^\circ$ -os egyenesre essen, teljességgel lehetetlent követelünk. Eltérések (amint azt a 16. ábra két különböző modell típusra érzékelteti) mindig maradnak, tehát definiálhatjuk a látszólagos fajlagos ellenállást bármiképpen, a frekvenciatartományban mindig lesznek oszcillációk.

Spies és Eggers (1986) 5 féle látszólagos fajlagos ellenállást definiáltak (ld. 8. függelék). A 16. ábra a definíciók túllövési sajátosságait is szemlélteti: a klasszikus Cagniard-féle definíció túllövéses  $\lambda_1/h$ -intervallumát a körív mutatja, az impedancia valós részéből számított látszólagos fajlagos ellenállásnál a túllövéses terület a  $|Re Z| > 1/\sqrt{2}$  részre korlátozódik; míg az  $Im Z$ -ből számított látszólagos fajlagos ellenállás túllövési feltétele:  $|Im Z| > 1/\sqrt{2}$ .

Látható, hogy a legkisebb oszcilláció — Spies és Eggers (1986) következtetésével összhangban —  $Re Z$ -ből számított látszólagos fajlagos ellenállás esetében adódik, de az oszcilláció létezésének itt sem normálási, hanem fizikai okai vannak.

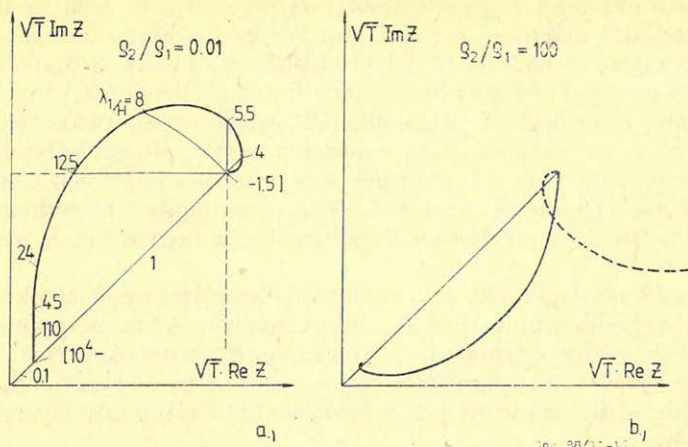


15. ábra. A  $q_2/q_1 = 100$  (A modell) és a  $q_2/q_1 = 0.01$ -hez (B modell) tartozó impedancia abszolút értékének görbéje a  $\lambda_1/h$  függvényében

Рис. 15. Кривая абсолютных значений импеданции  $q_2/q_1 = 100$  (модель А) и  $q_2/q_1 = 0,01$  (модель В) в зависимости от  $\lambda_1/h$

Fig. 15. Absolute values of the surface impedance for model A ( $q_2/q_1 = 100$ ) and for model B ( $q_2/q_1 = 0.01$ ) as a function of  $\lambda_1/h$





16. ábra. Az impedancia valós és képzes részének változása a  $\lambda_1/h$  függvényében a)  $\rho_2/\rho_1 = 100$  (A modell), b)  $\rho_2/\rho_1 = 0.01$  (B modell)

Рис. 16. Изменение действительной и воображаемой составляющих импеданции в зависимости от  $\lambda_1/h$ :

a)  $\rho_2/\rho_1 = 100$  (модель А) б)  $\rho_2/\rho_1 = 0,01$  (модель В)

Fig. 16. Internal variations between the real and imaginary parts of the surface impedance as a function of  $\lambda_1/h$ . a)  $\rho_2/\rho_1 = 100$  (Model A), b)  $\rho_2/\rho_1 = 0.01$  (Model B)

## A felszíni impedancia kapcsolata a mélybeli áramrendszerrel

A magnetotellurika kutatási mélységét — akárcsak a többi elektromágneses kutatómódszerét — szinte kizárólag a „behatolási mélység”-en keresztül szokás megítélni. A behatolási mélység koncepciójának túlerőltetése azért vezet tévútra, mert a csillapodó hullámok már a rétegzett feltérben sem egyirányúak, hanem azok a felfelé és lefelé haladó hullámok szuperpozíciójaként állíthatók elő.

A felszín alatti elektromágneses tér vizsgálatában a felfelé és lefelé haladó hullámok szuperpozíciójának vizsgálatával teljesen egyenrangú eszközt jelent a mélyben folyó áramrendszerek vizsgálata. Ennek az irányzatnak Schmucker (1970) és Weidelt (1972) jelenti a kezdetét. (A Schmucker-inverzió nem a Cagniard-féle látszólagos ellenállást tételezi fel a behatolási mélység függvényében, hanem az ohmikus áramrendszer súlypontjának mélységéhez rendel egy, az impedancia valós részéből számított látszólagos fajlagos ellenállást.)

A Schmucker-féle elképzelésnek véleményem szerint a behatolási mélység koncepciójával szemben jelentős előnyei vannak. Levezethető ugyanis, hogy rétegzett feltér felszínén a mágneses tér a földben folyó teljes áram összegével egyenlő, az elektromos tér pedig az áram első nyomatékával arányos (ld. 9. függelék). Következésképpen az impedancia — egy arányossági tényezőtől eltekintve — a mélybeli áramrendszer súlypontjának mélységét tükrözi (ld. 10. és 11. függelék). Az ekként értelmezett súlypont mélysége komplex szám és az impedancia imaginárius része a felszíni mágneses térrel azonos fázisban levő



(„inphase”) áramrendszer súlypontjának mélységét írja le, míg az impedancia valós része a felszíni mágneses tér fázisától  $90^\circ$ -ban különböző („out-of-phase”) áramrendszer súlypont-mélységét jelzi. (Ebből számított *Schmucker* (1970), valamint *Spies* és *Eggers* (1986) látszólagos fajlagos ellenállást.)

A különböző látszólagos fajlagos ellenállásszámítási eljárások tehát vagy az out-of-phase, vagy az inphase áramrendszerek periódusfüggő súlypontmélység-változását, vagy pedig a két súlypontmélység-változás valamilyen kombinációját veszik figyelembe. [*Spies* és *Eggers* (1986) formulájából következik, hogy a *Cagniard*-féle definíció a kétfajta súlypontmélység négyzeteinek átlagát veszi alapul.]

A 17. és a 18. ábra az inphase és az out-of-phase áramrendszerek súlypontjának mélységnövekedését mutatja a  $\lambda_1/h$  függvényében. A két mélységgörbe mindkét modell esetén metszi egymást (rámutatva ismét a túllövések frekvenciatartománybeli létezésének szükségszerűségére), majd az *A* modell esetén az inphase, a *B* modell esetén pedig az out-of-phase áramrendszer súlypontmélysége szalad el a másikhoz képest.

A felszíni impedanciának tehát a mélybeli áramrendszer segítségével közvetlen fizikai jelentés adható.

### A magnetotellurikus fázisról

A magnetotellurikus fázis a felszíni elektromos és a mágneses térerősség fáziskülönbsége. Az első modellszámítások óta ismert, hogy a fázisnövekedés jól vezető aljzatot, a fáziscsökkenés pedig a fedőnél rosszabbul vezető aljzatot indikál. A kétréteges magnetotellurikus fázis fizikájával kapcsolatban *Fischer* (1985) arra a következtetésre jutott, hogy felszíni áramkoncentráció esetén mindig fázisnövekedésnek, felszíni áramhiány (tehát mélybeli áramkoncentráció) esetén pedig mindig fáziscsökkenésnek kell lennie a homogén féltérre jellemző  $45^\circ$ -os fázisértékhez képest.

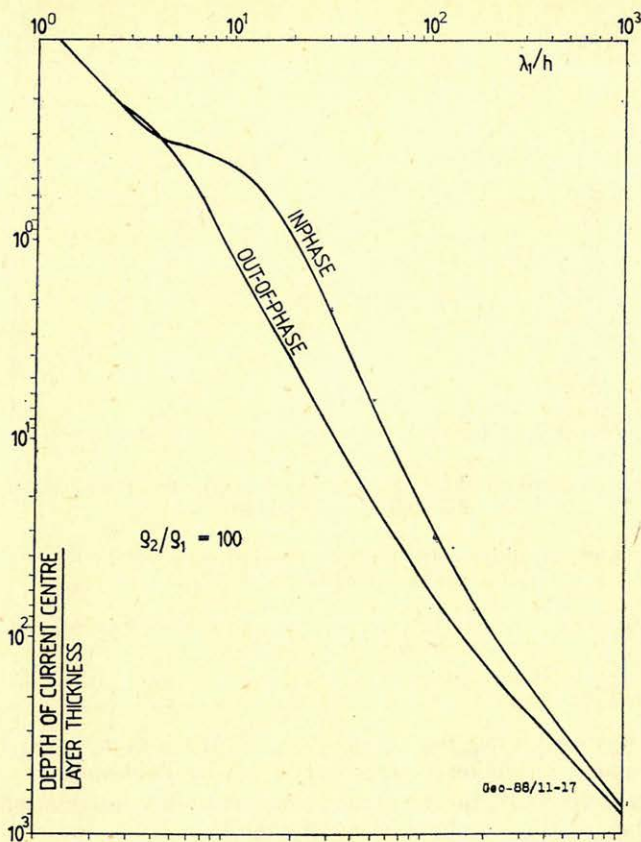
Miután definíció szerint  $\varphi_{MT} = \text{atan} \frac{\text{Im } Z}{\text{Re } Z}$ , s a 12. függelékben levezetettek

szerint  $\varphi_{MT} = \text{atan} \frac{-\text{Re } z^*}{\text{Im } z^*}$ , a magnetotellurikus fázisnak szemléletes fizikai

jelentés adható: a felszíni fázis pontosan azt írja le, hogy az inphase áramrendszer súlypontjának mélysége mennyire siet az out-of-phase áramrendszer súlypontjának mélységéhez képest.  $\lambda_1/h \rightarrow 0$  esetén a két súlypont azonos mélységben van, majd — mivel az inphase és out-of-phase áramrendszerek súlypontsüllyedése a réteghatár közelében nem egyforma — kialakul a szerkezetre és a  $\lambda_1/h$ -ra jellemző felszíni magnetotellurikus fázis. Amikor  $\lambda_1/h \rightarrow \infty$  esetén a két súlypont ismét azonos mélységbe kezd kerülni, a fázis újból kezd a  $45^\circ$  felé közelíteni.

*Weidelt* (1972) a Landau – Lifszitz-féle diszperziós összefüggések felhasználásával levezetett egy közelítő összefüggést a magnetotellurikus  $\rho$  és  $\varphi$  görbék kapcsolatára (ld. 13. függelék). E szerint a fázisgörbe az ellenállásgörbe logaritmikus deriváltjával van szoros kapcsolatban. Az összefüggés könnyen értelmezhető az áramrendszerek súlypontja segítségével. Amíg az ellenállásgörbe az inphase és out-of-phase áramrendszerek súlypontjának átlagmélység-változását követi a periódusidő függvényében, addig a fázisgörbe logaritmikus ábrázolásban a két súlypontmélység különbségét írja le.





17. ábra. Az inphase és az out-of-phase áramrendszerek súlypontmélységének növekedése az  $A$  modell fölött a  $\lambda_1/h$  függvényében

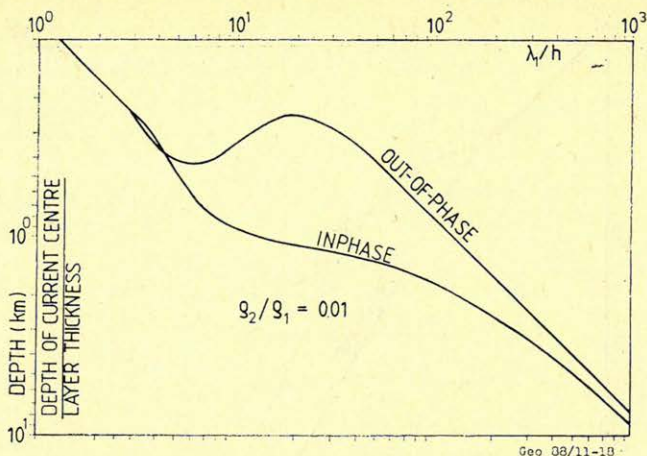
Рис. 17. Возрастание глубины центра внутрифазной и внефазной систем тока над моделью  $A$ ) в зависимости от  $\lambda_1/h$

Fig. 17. Depth-variation of weight-point of inphase and out-of-phase currents in model  $A$  as a function of  $\lambda_1/h$

### A látszólagos fajlagos ellenállással szemben támasztott követelmények

A magnetotellurikus látszólagos fajlagos ellenállást *Cagniard (1953)* látszólag a legkézenfekvőbb módon definiálta, de amint *Spies és Egger (1986)* rámutatott, a *Cagniard*-féle definíció igencsak esetlegesnek bizonyult. *Spies és Eggers (1986)* tanulmányában négy további lehetséges meghatározás található a látszólagos fajlagos ellenállásra nézve. A definíciókat a szerzők szerint értékelték, hogy a látszólagos fajlagos ellenállás mennyire tesz eleget az alábbi követelményeknek:

- aszimptotikus értékei a valódi ellenállást közelítsék;
- az ellenállás-átmenetek határozottak, gyorsak és oszcillációmentesek legyenek.



18. ábra. Az inphase és az out-of-phase áramrendszerek súlypontmélységének növekedése a  $B$  modell fölött a  $\lambda_1/h$  függvényében

Рис. 18. Возрастание глубины центра внутрифазной и внефазной систем тока над моделью  $B$ ) в зависимости от  $\lambda_1/h$

Fig. 18. Depth-variation of weight-point of inphase and out-of-phase currents in model  $B$  as a function of  $\lambda_1/h$

Az ötféle  $\rho_a$  közül a legjobb tulajdonságokkal az impedancia valódi részéből származtatott görbe rendelkezik, de ez sem volt oszcillációmentes. Ebben a tanulmányban bebizonyítottuk, hogy a frekvenciatartományban lehetetlen oszcillációmentes látszólagos fajlagos ellenállást definiálni.

A látszólagos fajlagos ellenállással szemben támasztott követelményeknek kizárólag az időtartománybeli fajlagos ellenállásgörbék tesznek eleget. Ilyen görbéket a magnetotellurikában Kunetz (1972) számított (ld. 14. függelék). Az inverziós eljárások tökéletesítésével úgy tűnik, igencsak időszerű lenne az elektromágneses mérések tulajdonságait az időtartományban is megvizsgálni. A problémák természetesen a frekvenciatartományban is megoldhatók, de itt le kell mondani a mélybeli ellenállás változásokat helyesen tükröző látszólagos fajlagos ellenállás-számítás lehetőségének reményéről.

## Összefoglalás

A magnetotellurika összefüggéseiből kiindulva bemutattuk az elektromos és mágneses térerősség-komponensek, valamint az impedancia mélységszelvényét egy jól vezető ( $\rho_2/\rho_1 = 0.01$ ) és egy rosszul vezető ( $\rho_2/\rho_1 = 100$ ) aljzattal rendelkező kétréteges féltér belsejében. Ennek során összefoglaltuk a legalapvetőbb térjellemzőket, érzékeltettük a skinhatás mechanizmusát, rávilágítottunk a  $\rho_2/\rho_1 = 100$  és  $\rho_2/\rho_1 = 0.01$  modellek impedanciaszelvényeinek szoros kapcsolataira, s kimutattuk, hogy a túllövési jelenségnek fizikai oka van. A behatolási mélység által sugallt koncepcióval szemben hangsúlyoztuk, hogy a tértorzulás a réteghatárról kiindulva halad a  $\lambda_1/h$  növekedésével egyre feljebb, egészen a felszínig.



A felszíni impedanciából többféle látszólagos fajlagos ellenállás definiálható. Argand-diagramon bizonyítottuk, hogy a frekvenciatartományban valóban a *Spies és Eggers (1986)* által javasolt, az impedancia valós részét alapul vevő definíció a legjobb.

A felszíni impedancia szoros, mindeddig nem vizsgált kapcsolatban van a mélybeli áramrendszerrel: az impedancia valós része a felszíni mágneses tér fázisához képest  $90^\circ$ -kal eltolt fázisú áramrendszer súlypontjának mélységével arányos, az impedancia képzetes része pedig a felszíni mágneses térrel azonos fázisú áramrendszer súlypontjának mélységét írja le.

Amíg tehát a látszólagos fajlagos ellenállás az inphase, vagy az out-of-phase áramrendszerek súlypontmélység-növekedését tükrözi, addig a magnetotellurikus fázis a két áramrendszer súlypont-mélységének arányát fejezi ki. A *Weidelt (1972)* által levezetett  $\varrho_a$  és  $\varphi_{MT}$  közötti közelítő összefüggésnek igen egyszerű fizikai oka van.

A látszólagos fajlagos ellenállással szemben elvárt követelményeket egyik definíció sem tudja a frekvenciatartományban kielégíteni. Amennyiben a látszólagos fajlagos ellenállás fogalmára egyáltalán szükség van, a vizsgálódásokat érdekes az időtartományban elvégezni, ahol a látszólagos fajlagos ellenállásgörbék nem tartalmaznak „túllövést”.

A vizsgálatnak több olyan vonatkozása van, amely nemcsak a magnetotellurikában, hanem más elektromágneses módszerekben is alkalmazható. Nem tértünk ki a két- és háromdimenziós szerkezetek elektromágneses tértorzító hatásának vizsgálatára.

Meggyőződésem, hogy az áramnyomaték, valamint az áramrendszer-súlypont komplex mélysége segítségével más elektromágneses módszerek, valamint bonyolultabb szerkezeti formák által okozott tértorzulások is könnyebben értelmezhetők lesznek.

## IRODALOM

- Cagniard, L., 1953.* Basic theory of the magnetotelluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, 18, 605–635.
- Fischer, G., 1985.* Some remarks on the behaviour of the magnetotelluric phase. *Geophysical Prospecting*, 33, 716–722.
- Kunetz, G., 1972.* Processing and interpretation of magnetotelluric soundings. *Geophysics*, 37, 1005–1021.
- Renner, J., Salát, P., Stegena, L., Szabadváry, L., Szemerédy, P., 1969.* Geofizikai kutatási módszerek III. Felszíni geofizika. Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 167–171.
- Schmucker, U., 1970.* Anomalies of geomagnetic variations in the Southwestern United States. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*. University of California, San Diego, vol. 13, p. 69.
- Spies, B. R. and Eggers, D. E., 1986.* The use and misuse of apparent resistivity in electromagnetic methods. *Geophysics*, 51, 1462–1471.
- Weidelt, P., 1972.* The Inverse Problem of Geomagnetic Induction. *Zeitschrift für Geophysik*, 38, 257–289.

## Függelék

1. A komplex hullámszám ( $k$ ) a (2) egyenletből lett definiálva:

$$k^2 = -i\omega\mu\sigma, \text{ ahonnan } k = \pm \frac{1-i}{\sqrt{2}}\sqrt{\omega\mu\sigma},$$

azaz

$$\operatorname{Re} k = \pm \sqrt{\omega \mu \sigma / 2}$$

$$\operatorname{Im} k = -\operatorname{Re} k = \mp \sqrt{\omega \mu \sigma / 2}$$

2. A homogén közegben  $l$  hullámhossznyi mélységben a tér fázisa megegyezik a felszíni fázissal:

$$e^{i \cdot \operatorname{Im} k \cdot \lambda} = e^{-i \cdot 2\pi}, \text{ ebből } \lambda = 2\pi / |\operatorname{Im} k| = \sqrt{10^7 \varrho T} \quad [\text{m}]$$

3. Az áramsűrűség ( $j(z, \omega)$ ) számítása:

a) az Ohm-törvény segítségével:  $j(z, \omega) = \sigma(z) \cdot E(z, \omega)$

b) az Ampère-törvény segítségével:

$$\begin{aligned} \int_{y=0}^1 H(z, \omega) dy + \int_{h=z}^{z+\Delta z} H(h, \omega) dh + \int_{y=1}^0 H(z+\Delta z, \omega) dy + \\ + \int_{h=z+\Delta z}^z H(h, \omega) dh = \int_{y=0}^1 \int_{h=z}^{z+\Delta z} j(z, \omega) dh dy \end{aligned}$$

Mivel  $y$ -től sem  $H(\omega)$ , sem  $j(\omega)$  nem függ, ezért

$$-\frac{H(z+\Delta z, \omega) - H(z, \omega)}{\Delta z} = j(z, \omega), \text{ amiből } \Delta z \rightarrow 0$$

$$\text{esetén } j(z, \omega) = -\frac{dH(z, \omega)}{dz}$$

A két módon számított áramsűrűségnek természetesen azonos eredményt kell adni.

4. Az elektromágneses mérésekből meghatározott felszíni komplex impedancia az összetartozó elektromos és mágneses térerősségek hányadosa,  $Z = E/H$ . A homogén féltér impedanciája ( $Z$ ) pl. a (7) és (8) összefüggésből is származtatható:

$$Z = -\frac{i \omega \mu}{k} = \sqrt{-i \omega \mu \varrho}$$

$$\operatorname{Re} Z = \pm \sqrt{\omega \mu \varrho / 2}$$

$$\operatorname{Im} Z = -\operatorname{Re} Z = \mp \sqrt{\omega \mu \varrho / 2}$$

5. A magnetotellurikus fázis ( $\varphi_{MT}$ ) definíciója:

$$Z = |E|/|H| e^{\pm i(\varphi_E - \varphi_H)}, \text{ azaz } \varphi_{MT} = \pm(\varphi_E - \varphi_H),$$

vagy az algebrai alak alapján:  $\varphi_{MT} = \operatorname{atan} \frac{\operatorname{Im} Z}{\operatorname{Re} Z}$

A  $\varphi_{MT}$  kifejezi, hogy a felszíni elektromos tér fázisa mennyire siet a mágneses tér fázisához képest. A  $k$  definíciójától függően a homogén féltér fázisa egyes szerzőknél  $+45^\circ$ , másoknál  $-45^\circ$ . Az eltérő használat miatti félreértések elkerülhetők, ha a fázisnövekedés alatt mindig a fázis abszolút értékének növekedését értjük.



6. A skinmélység ( $h_s$ ) az a mélység, ahol – homogén féltért feltételezve – a tér amplitúdója a felszíni érték  $e$ -ed részére csökken:

$$e^{-kz} = e^{-\operatorname{Re} k \cdot z} \cdot e^{-i \operatorname{Im} k \cdot z}, \text{ ebből}$$

$$e^{-\operatorname{Re} k \cdot h_s} = e^{-1} \text{ alapján } h_s = 1/|\operatorname{Re} k| = \frac{1}{2\pi} \sqrt{10^7 \varrho T} \quad [\text{m}]$$

7. A felszíni impedancia  $H = 1 + i \cdot 0$  feltétel mellett az alábbiak szerint írható:

$$Z = \frac{\operatorname{Re} E + i \operatorname{Im} E}{\operatorname{Re} H + i \operatorname{Im} H} = \operatorname{Re} E + i \operatorname{Im} E$$

8. *Spies és Eggers (1986)* látszólagos fajlagos ellenállásdefiníciói:

- a) klasszikus (*Cagniard-féle*) definíció

$$\varrho_a, |Z| = \frac{1}{\omega \mu} |Z|^2$$

- b) az impedancia valós része alapján

$$\varrho_a, \operatorname{Re} Z = \frac{2}{\omega \mu} (\operatorname{Re} Z)^2$$

- c) az impedancia képzetes része alapján

$$\varrho_a, \operatorname{Im} Z = \frac{2}{\omega \mu} (\operatorname{Im} Z)^2$$

- d) az impedancia négyzetének képzetes része alapján

$$\varrho_a, \operatorname{Im} Z^2 = \frac{1}{\omega \mu} \operatorname{Im} Z^2$$

- e) az impedancia négyzetének abszolút értéke alapján

$$\varrho_a, |Z^2| = \frac{1}{\mu \omega} |Z^2|$$

Bebizonyítható összefüggések:

$$- \varrho_a, |Z| = \frac{1}{2} (\varrho_a, \operatorname{Re} Z + \varrho_a, \operatorname{Im} Z)$$

$$- \varrho_a, \operatorname{Im} Z^2 = \sqrt{\varrho_a, \operatorname{Re} Z \cdot \varrho_a, \operatorname{Im} Z}$$

$$- \varrho_a, |Z^2| = \left[ \frac{1}{2} (\varrho_a, \operatorname{Re} Z + \varrho_a, \operatorname{Im} Z) \right]^{1/2}$$

9. A felszíni elektromos és mágneses térerősségek kifejezése a mélybeli áramrendszer alapján:

a) Az Ampère-törvény segítségével:

$$\int_{y=0}^1 H(0, \omega) dy + \int_{z=0}^{z_M} H(z, \omega) dz + \int_{y=1}^0 H(z_M, \omega) dy + \int_{z=z_M}^0 H(z, \omega) dz =$$

$$= \int_{y=0}^1 \int_{z=0}^{z_M} j(z, \omega) dz dy$$

Mivel  $z_M \rightarrow \infty$  esetén  $H(z_M, \omega) \rightarrow 0$ , ezért

$$H(0, \omega) = \int_{z=0}^{\infty} j(z, \omega) dz$$

A felszíni mágneses teret tehát a földben folyó teljes áram határozza meg.

b) Ha az Ampère-törvénybe behelyettesítjük a (9a) összefüggést, akkor a felszíni elektromos térerősségre nézve nyerünk fontos összefüggést:

$$-\frac{1}{i\omega\mu} E(0, \omega) = \int_{z=0}^{\infty} z \cdot j(z, \omega) dz$$

10. A változó sűrűségű test tömegközéppontjának képletéhez hasonlóan definiálható a mélybeli áramrendszer súlypontjának komplex mélysége:

$$z^* = \frac{\int_{z=0}^{\infty} z j(z) dz}{\int_{z=0}^{\infty} j(z) dz}$$

Mivel feltételezzük, hogy a felszíni mágneses tér valós, azért  $\int_{z=0}^{\infty} j dz$  valós és

$$\operatorname{Re} z^* = \frac{\int_0^{\infty} z \operatorname{Re} j(z) dz}{\int_0^{\infty} j dz} \quad (\operatorname{Re} z^* \text{ az „inphase” áramrendszer súlypontjának mélysége})$$

$$\operatorname{Im} z^* = \frac{\int_0^{\infty} z^* \operatorname{Im} j(z) dz}{\int_0^{\infty} j dz} \quad (\operatorname{Im} z^* \text{ az „out-of-phase” áramrendszer nyomatéka az összes áramhoz képest; ezt nevezzük az „out-of-phase” áramrendszer súlypont-mélységének.})$$

11. A 9. függelék alapján a felszíni impedancia megdöbbenően egyszerű összefüggésben van a mélybeli áramrendszerrel:



$$Z(0, \omega) = E_x(0, \omega)/H_y(0, \omega) = i\omega\mu \frac{\int_0^\infty z j(z, \omega) dz}{\int_0^\infty j(z, \omega) dz}$$

A 7. pont figyelembevételével

$$Z(0, \omega) = i\omega\mu z^*$$

A felszíni impedancia egyenesen arányos a mélybeli áramrendszer súlypontjának mélységével.

$$\operatorname{Re} Z = -\omega\mu \operatorname{Im} z^*$$

$$\operatorname{Im} Z = \omega\mu \operatorname{Re} z^*$$

Az impedancia valós része az out-of-phase áramrendszer súlypontmélységét, az impedancia képzetes része az inphase áramrendszer súlypontmélységét írja le.

Homogén feltér esetén

$$\operatorname{Im} z^* = -\frac{1}{\omega\mu} \operatorname{Re} Z = -\frac{1}{\omega\mu} (\pm \sqrt{\omega\mu\varrho/2}) = \mp \frac{1}{\sqrt{2}|k|} = \mp \frac{1}{2} \operatorname{Re} k$$

$$\operatorname{Re} z^* = \frac{1}{\omega\mu} \operatorname{Re} Z = \frac{1}{\omega\mu} (\mp \sqrt{\omega\mu\varrho/2}) = \mp \frac{1}{\sqrt{2}|k|} = \mp \frac{1}{2} \operatorname{Re} k$$

A súlypontok mélysége homogén feltér esetén a skinmélység felében van.

Megjegyzés: A  $k$  hullámszám és a  $Z$  impedancia előjelét az dönti el, hogy fizikailag melyik mennyiség értelmezhető. Mivel az áramsúlypontok mélységének mindig pozitívnak kell lenni, ezért mind a  $k$ , mind a  $Z$  két lehetséges értéke közül az alsót kell elfogadni, mint fizikai jelentéssel bírót.

## 12. A magnetotellurikus fázis fizikai jelentése

$$\varphi_{MT} = \operatorname{atan} \frac{\operatorname{Im} Z}{\operatorname{Re} Z} = -\operatorname{atan} \frac{\operatorname{Re} z^*}{\operatorname{Im} z^*}$$

A magnetotellurikus fázis azt fejezi ki, hogy az inphase áramrendszer súlypontjának logaritmikus mélysége hogyan aránylik az out-of-phase áramrendszer súlypontjának logaritmikus mélységéhez.

A fajlagos ellenállás logaritmikus ábrázolásához alkalmazkodva ( $\log \varrho_a \sim \log f(z^*)$ )

$$\log \tan \varphi = \log \operatorname{Re} z^* - \log \operatorname{Im} z^*$$

13. A látszólagos fajlagos ellenállás és a fázis összefüggése Weidelt (1972) a Landau–Lifszitz-féle diszperziós összefüggésből (amelynek lényege, hogy lineáris rendszerekben bizonyos oksági összefüggések szerint a válaszfüggvény valós és képzetes része nem független egymástól) a Cagniard-féle lát-

szólagos fajlagos ellenállás és fázis kapcsolatára az alábbi egzakt összefüggést vezette le:

$$\varphi(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \frac{d \log \varrho_a(x)}{d \log x} \log \left| \frac{\omega - x}{\omega + x} \right| \frac{dx}{x}$$

A fenti formula az alábbi, kvalitatív ellenőrzésre még alkalmas alakra egyszerűsíthető:

$$\psi(T) \approx \frac{\pi}{4} [1 - d \log \varrho_a(T) / d \log T]$$

A közelítő formula a fázisminimumokat, -maximumokat túlhangsúlyozza a valódi fázisminimumokhoz és fázismaximumokhoz képest.

14. Az időtartományban (Kunetz, 1972) az  $E(t)$  és  $H(t)$  térerősség-komponenseket az  $U(t)$  átviteli függvény kapcsolja össze, ahol

$$E(t) = U(t) * \frac{dH(t)}{dt}$$

Fourier-transzformációval levezethető, hogy

$$U(t) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\varrho_1}{t}} \left[ 1 + \sum_{m=1}^{\infty} q_m e^{-(4\pi a^2/t) m^2} \right],$$

ahol  $q_m$  az  $m$ -edik elemi réteghez tartozó elektromos tükörkép. A  $q_m$  értékeket az  $L_m = \frac{\sqrt{\varrho_{m+1}} - \sqrt{\varrho_m}}{\sqrt{\varrho_{m+1}} + \sqrt{\varrho_m}}$  reflexiók együtthatókból iterációs formulákkal lehet meghatározni:

$$\alpha_m = (1 - L_1^2)(1 - L_1^2) \dots (1 - L_{m-1}^2),$$

$$q_m = \alpha_m L_m - (q_{m-1} Z_1^{m-1} + q_{m-2} Z_2^{m-1} + \dots + q_1 Z_{m-1}^{m-1}),$$

$$Z_j^m = \begin{cases} Z_j^{m-1} - L_m Z_{m-1}^{m-1} & \dots j \leq m \\ 0 & \dots j > m \end{cases}$$

és

$$Z_0^0 = 1, \alpha_1 = 1.$$



# Egy bányabeli frekvenciaszondázó módszer alapelvének ellenőrzése fizikai modellezéssel

TAKÁCS ERNŐ\*

*Egy bányabeli frekvenciaszondázó rendszer — vertikális elektromos adó- és vevő-dipólok — kutatási alappondolatának ellenőrzésére fizikai modellezés történt. Az eredmények bizonyítják, hogy a széntelepben elhelyezett adóval és vevővel ellenőrizhető a mérőállomás környezetében és az adó-vevő közötti térrészben a telep folyamatosságának megléte, illetve kimutathatók inhomogenitásai.*

*Проверка основного принципа одного из методов геофизической разведки с применением системы частотного зондирования (расположенные вертикально электрические передающие и приемные диполи) выполнялась с помощью физического моделирования. Результаты выполненных исследований показывают, что посредством размещения передающего и приемного диполей в пределах угольного пласта может быть изучена непрерывность пласта и выявлены его неоднородности в окрестности измерительной станции и в пределах пространства, ограниченного приемным и передающим диполями.*

*Physical modelling has been carried out to check the basic principles of an underground frequency sounding method with vertical electric dipoles developed for coal exploration. The results prove that the continuity of the coal layer can be controlled and the inhomogeneities can be pointed out both at the vicinity of the receiver and between the transmitter and receiver.*

## Bevezetés

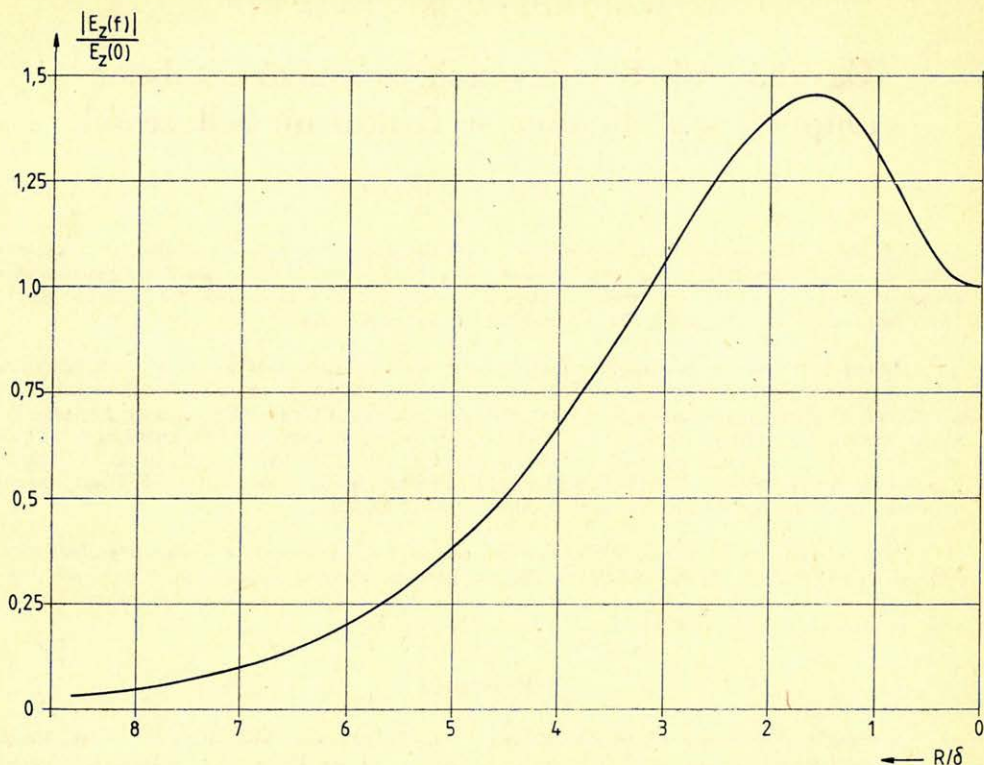
A széntelepnek a feltárások helyei — mélyfúrások, vágatok — környezetében, vagy közöttük meglevő folyamatossága — vetők hiánya — a bányaművelés szempontjából nagyon fontos információ. Erre vonatkozóan a feltárások helyén a telepben elhelyezett vertikális elektromos adó- és mérődipollal végzett frekvenciaszondázás az eddigi bányabeli kísérletek alapján biztató eredményeket adott [1].

Az új geofizikai módszerek rutinszerű alkalmazását sokoldalú numerikus, vagy analóg szimuláció kell, hogy megelőzze olyan modelleken, amelyek a valószínű földtani környezetet közelítik. Ezt a szimulációt horizontálisan rétegzett metszetre számos, a hazai széntelepes összletet közelítő modellre elvégeztük [2, 3]. Bár számunkra a horizontális irányban inhomogén modell lenne a megfelelő, mégis szükség van a horizontálisan rétegzett modellre vonatkozó ismeretekre. Általuk érthetjük meg az elektromágneses tér rétegzett közegben való viselkedésének sajátosságait. A tőlük való eltérés ugyanis a laterális inhomogenitások kutatásának alapja.

Természetesen szükség van a laterális inhomogenitásokkal bíró modellekre történő szimulációra is. A numerikus modellezést lehetővé tevő programok még fejlesztés alatt állnak [4]. Emiatt egyelőre csak a fizikai modellezés lehetősége adott, aminek viszont korlátai vannak a méreteket, a modell összetettségét, a fajlagos ellenállás és a frekvenciatartományát illetően.

A céljainknak megfelelő modellező rendszerrel csak az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézete rendelkezik [5]. Kérésünkre itt végezték el a méréseket, amiért dr. Szarka László kandidátusnak ezúton is köszönetet mondok.

\* NME Geofizikai Tanszék, Miskolc



1. ábra. Normált frekvenciaszondázási görbe homogén közegben

Рис. 1. Нормализованная кривая частотного зондирования в однородной среде

Fig. 1. Normed frequency sounding curve measured in inhomogeneous medium is shown

### A vertikális áramdipólus vertikális elektromos térerőssége abszolút értékének — $|E_z|$ — alakulása az adó dipólust tartalmazó rétegben

A [2], [3] tanulmányokban közöltek alapján  $|E_z|$ -nek a rétegzett térben való viselkedésére összefoglalóan az alábbi megállapítások tehetők.

A rétegek fajlagos ellenállásának nem túl nagy kontrasztja —  $\varrho_i / \varrho_{i+1} < 100$  —, valamint kisebb rétegvastagságok mellett különösen nagyobb adó-vevő távolságoknál —  $R > 50$  m — a térerősség-frekvencia függése a homogén térben kialakuló frekvenciaszondázási görbék jellegét mutatja. Nevezetesen kialakul a többé-kevésbé konstans értékszintű kvázistacionárius szakasz, a relatív maximum szakasza és a görbe meredeken süllyedő ága, ahogyan azt homogén közegre az 1. ábra mutatja. Az ábrán az általánosítás érdekében az abszcisszára az  $R/\delta$  mennyiség, az ordinátára pedig az azonos elektródarendszerrel a különböző frekvenciáknál mért térerősség-amplitúdónak az egyenáramú mérés eredményére normált értéke van felhordva.  $\delta$  a szkinmélységet jelenti, ami a  $\delta = (10^3/2\pi$



$(10\rho/f)^{1/2}$  képlettel a közet  $\rho$  fajlagos ellenállása és az  $f$  frekvencia ismeretében számítható. A maximum az  $R/\delta \approx 1,6$  értéknél jelentkezik, tehát függvénye az adó-vevő távolságnak, a közet fajlagos ellenállásának és a frekvenciának.

A görbe alakulására rétegzett térben az egyes rétegek is kifejtik hatásukat.

Maguk az értékszintek, illetve belőlük a geometriai szondázás képletével számított látszólagos fajlagos ellenállások az áram által kitöltött térfogaton belüli földtani felépítés függvényei. A rétegződés hatása fő vonásaiban az alábbiak szerint alakul.

Az elektródák által közrefogott réteg, vagy összlet környezetéhez képest nagyobb fajlagos ellenállása növeli, kisebb fajlagos ellenállása pedig csökkenti ugyanebben a rétegben a térerősséget. A kísérő rétegek hatása viszont fordítottan jelentkezik. Emiatt a környezetéhez képest nagyobb fajlagos ellenállású széntelep a kvázistacionárius szakaszon jóval nagyobb látszólagos fajlagos ellenállás értékeket alakít ki, mint tényleges fajlagos ellenállása [6].  $|E_z|$  egyébként vékony telepeknél – különösen nagyobb  $R$ -nél – a telepen belül gyakorlatilag állandónak tekinthető, majd a réteghatáron a fajlagos ellenállás-viszonynak megfelelő ugrást mutat.

A frekvencia növekedésével a váltóáram áramrendszerének térfogata csökken. Különösen kis  $R$  távolságoknál egyre nagyobb lesz a hatása az elektródákat tartalmazó telepnek, illetve a telep közvetlen környezetének. Az áramrendszer frekvenciától függő különböző térfogataihoz, most már a rétegződés miatt mindig más és más effektív ellenállás tartozik. Így a homogén tér esetéhez képest, – amikor az effektív ellenállás az áramrendszer térfogatától független – a frekvenciaszondázási görbén eltérések jelennek meg. Ezek kiemelhetők egy olyan görbetranszformációval, ami eltávolítja a görbe homogén térre megismert, összetett alakját. Számított, tényleges ( $\rho_a$ ) és transzformált ( $\rho_a^*$ ) frekvenciaszondázási görbéket mutatunk be a 2. ábrán az ott megadott metszetre, különböző  $R$  távolságokra. Jól látható, hogy a frekvencia növekedésével és az  $R$  távolság csökkenésével a telepbe kényszerülő elektromágneses tér a telep nagyobb fajlagos ellenállása miatt egyre nagyobb értékű  $\rho_a^*$  értéket ad, amit a tényleges frekvenciaszondázási görbékből az említett transzformációval vezettünk le.

A [3]-ban közöltek szerint a  $\rho_a(f)$  maximumából, a hozzá tartozó  $f_{\max}$ -ból és  $\rho_a(f \rightarrow 0)$ -ból jó közelítő érték vezethető le a széntelep fajlagos ellenállására, valamint a telepet kísérő, az áramtérben levő rétegek együttes hatását tükröző effektív látszólagos fajlagos ellenállásra, ami az inverzióhoz a modell felvételének alapja.

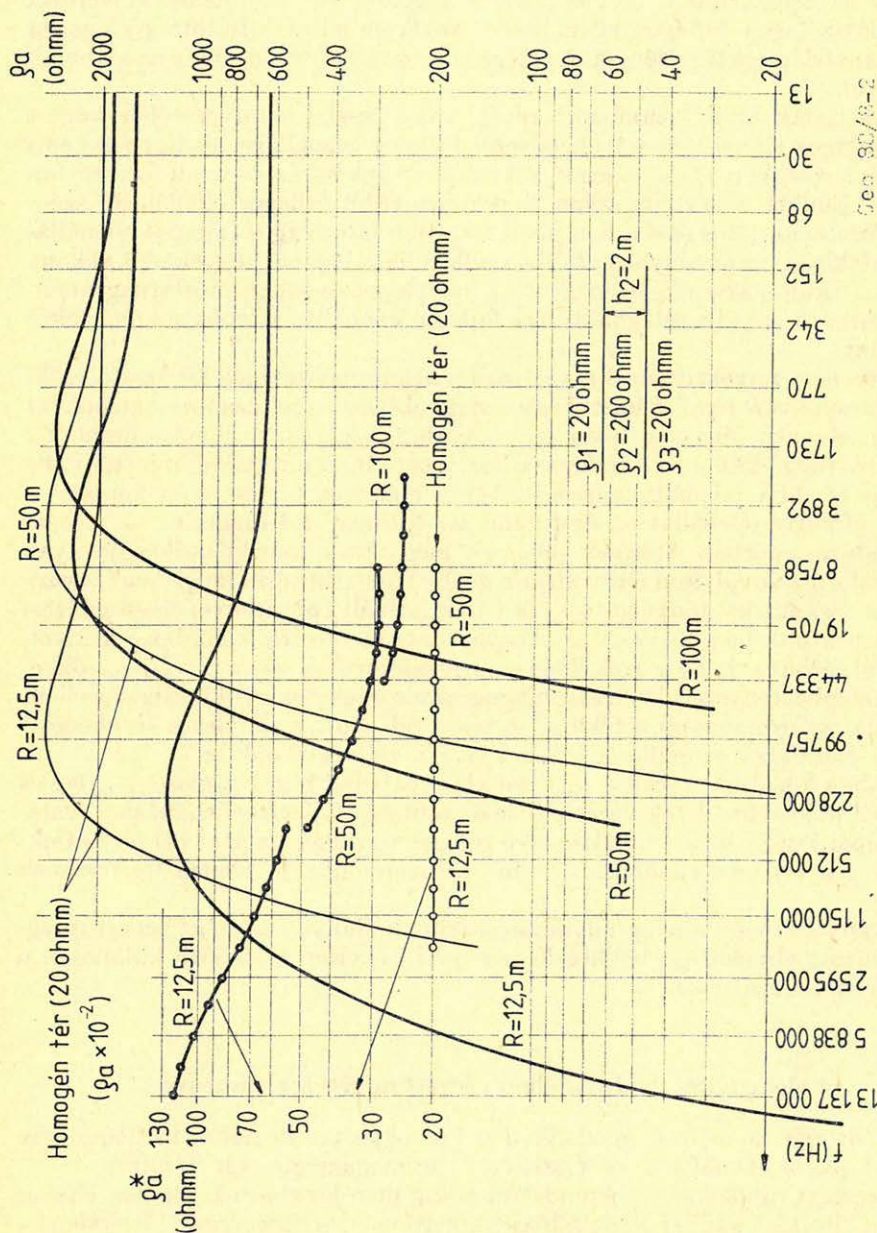
Nyilvánvaló, hogy a telep folyamatosságának hiánya esetén az ismert rétegsorra számított elméleti görbékhez képest jelentős eltérés várható különösen a nagy frekvenciás szakaszon.

### Az elektrolites modellkádban végzett mérések eredménye

A  $4 \times 3 \times 0,5$  m méretű modellkád a homogén tér közelítő modellezésére  $0,06$  ohm fajlagos ellenállású sós vízzel  $0,325$  m magasságig volt feltöltve.

Süllyesztett dipolokkal a berendezést eddig nem használták. Emiatt először a homogén kitöltésű kádban kialakuló és numerikusan is ellenőrizhető frekvenciaszondázási görbéket vettek fel különböző  $R$  távolság mellett ( $10, 15, 20, 25$  cm).  $R > 25$  cm távolságon túl a térerősség kis értéke miatt már nem lehetett mérni. A térerősségek frekvenciaszondázási görbéi a 3. ábrán láthatók.

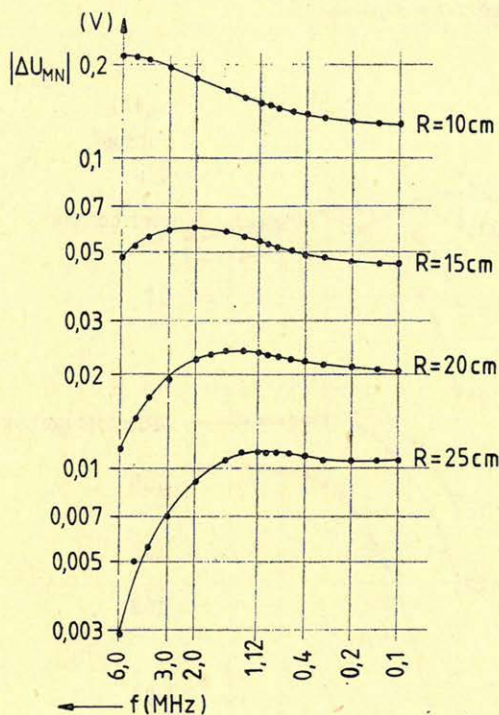




2. ábra. Egy háromréteges metszet  $q_d(f)$  és  $q_d^*(f)$  frekvencia-szondázási görbéi (adó és vevő a középső rétegben)  
 Рис. 2. Кривые часорного зондирования  $q_d(f)$  и  $q_d^*(f)$  для разреза, состоящего из трех слоев  
 (передающий и приемный диполи расположены в центральном слое)  
 Fig. 2. Frequency sounding curves  $q_d(f)$  and  $q_d^*(f)$  of a three-layered section are shown., (The trans-  
 mitter and the receiver are located in the sandwiched layer.)



A távolság növekedésének hatása korrigálható a geometriai szondázás egyen-  
áramra érvényes látszólagos fajlagos ellenállás képletének használatával. Alkal-  
mazásának további előnye, hogy értéke a földtani környezetre sokkal inkább  
informatív jellegű, mint a térerősségé. Így például homogén közegben a görbe  
kvázistacionárius szakaszán megadja a közeg tényleges fajlagos ellenállását. A  
látszólagos fajlagos ellenállás görbéi — ez az elnevezés a kvázistacionárius sza-



3. ábra. A 0,32 m magasságú, 0,06  $\Omega$ m fajlagos ellenállású sós vízben mért  $|\Delta U_{MN}|(f)$  frekvencia-  
szondázási görbék különböző adó-vevő távolságoknál

Рис. 3. Кривые частотного зондирования  $|\Delta U_{MN}|(f)$ , полученные в результате измерений,  
выполненных в слое соленой воды высотой 0,32 м с удельным сопротивлением 0,06  $\Omega$ м, для  
различных расстояний между передающим и приемным диполями

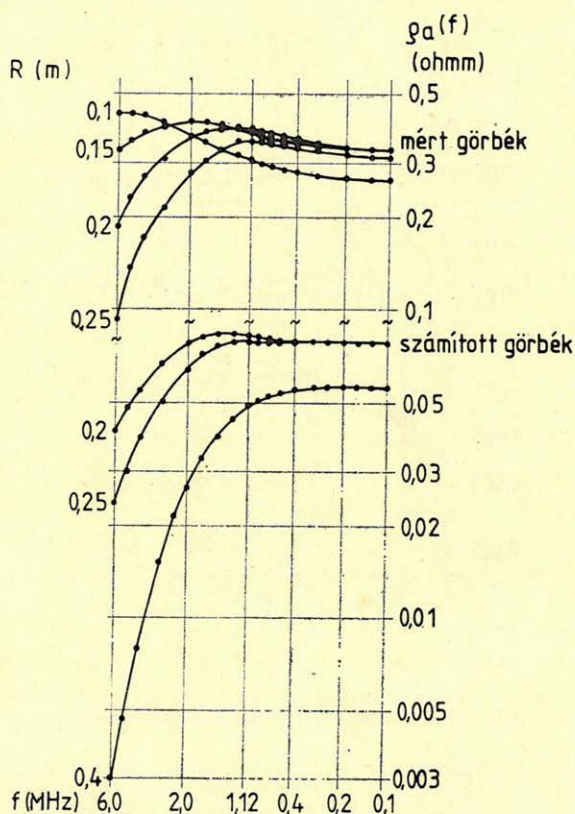
Fig. 3.  $|\Delta U_{MN}|(f)$  frequency sounding curves are shown measured in brine having apparent resis-  
tivity 0.06  $\Omega$ m and depth 0.32 m

kaszon kívül egyébként nem indokolt — a 4. ábrán láthatók. Ugyanott — az  
ábra alsó részére — felhordtuk a  $\rho_1 = 1000$ ;  $\rho_2 = 0,06$  ohm,  $h_2 = 0,325$  m;  
 $\rho_3 = 1000$  háromréteges metszetre számított görbéket is ( $R = 0,20; 0,25; 0,40$  m).

A 4. ábra modellen mért és számított görbéit összevetve megállapítható,  
hogy a modellkádban több mint három nagyságrenddel nagyobb volt a térerős-  
ség, mint az elméleti. Ez a meglepő tény csak az elektródák tartójának hatásával  
magyarázható, ami a kádban jelentős helyi inhomogenitást jelentett. Ugyanak-  
kor a görbék lefutása megfelelő egyezést mutat. Kiemelkedő a maximumok he-

lyének. —  $f_{\max}$  — egybeesése. Belőlük kiszámítható az elektrolit fajlagos ellenállása, ami az egyes görbékre  $0,062-0,066$  ohm közötti érték. A látszólag kedvezőtlen mérési eredmény határozottan informatív jellegű, mert

- mutatja a mérőrendszer inhomogenitásokra való érzékenységet,
- bizonyítja, hogy a vizsgált frekvenciasávban a modellkádiban kialakul a görbék három jellegzetes szakasza,



$1000 \Omega m$	
$0,06 \Omega m$	$0,32 m$
$1000 \Omega m$	

Geo 88/8-4

4. ábra. A  $0,32$  m magasságú,  $0,06 \Omega m$  fajlagos ellenállású sós vízben mért, valamint a közelítő met-szetre —  $1000 \Omega m - 0,06 \Omega m, 0,32 m - 1000 \Omega m$  — számított  $\rho_a(f)$  görbék

Рис. 4. Кривые  $\rho_a(f)$ , полученные для слоя соленой воды высотой  $0,32$  м с удельным сопротивлением  $0,062 \Omega m$ . а также для приближительного разреза ( $1000 \Omega m - 0,06 \Omega m, 0,32 m - 1000 \Omega m$ )

Fig. 4.  $\rho_a(f)$  curves measured in brine of  $0.06 \Omega m$  apparent resistivity and of  $0.32$  m depth and calculated to an approximative section ( $1000 \Omega m, 0.06 \Omega m, 0.32 m, 1000 \Omega m$ ) are shown



- nagyon figyelemre méltó, hogy a tér elnyelődése – a görbe süllyedő ágának kezdete ( $f_{\max}$ ) – alapján számított fajlagos ellenállás az amplitúdó értékétől – amit a környezet inhomogenitása jelentősen befolyásol – függetlenül helyes értéket ad az átvilágított közeg fajlagos ellenállására.

Az eddig tárgyalt mérés ellenőrző jellegű volt. Tekintve, hogy a telep modellezésénél nincs elektródatartó, a vele összefüggő torzító hatás a későbbi méréseknél nem jelentkezik.

A széntelepet faforgácslappal modelleztük, amely két hétig a sós vízben ázott. Az 1680 g-os lap 880 g sós vizet vett fel, aminek alapján azt vártuk, hogy fajlagos ellenállása körülbelül egy nagyságrenddel lesz nagyobb, mint az elektrolit. Az elektródák az alsó és felső lapon voltak elhelyezve ( $AB = MN = 0,025$  m).

Az első modell a kád jobb oldalán az elektrolitban – magassága közepén – elhelyezett  $117 \times 117 \times 2,5$  cm méretű lappal épült fel, ami a telep teljes kiékelődését modellezi. Az  $R = 0,4$  m méretű adó-vevő távolságú elektródaelrendezés a lap közepétől indulva közeledett a lap széle felé úgy, hogy  $R$  merőleges volt a profil irányára. A modell felépítése, a mérési rendszer elhelyezése és a frekvenciaszondázási görbék az 5. ábrán láthatók.

A 4. és 5. ábra görbéit összevetve alakjuk megváltozásán túl szembetűnő az értékszintek nagy eltolódása. A kvázistacionárius szakasz látszólagos fajlagos ellenállása a mintegy 320 ohm-ról a lemez közepén – 8 állomás – közel 40 000 ohm-re változott. A mért frekvenciasávban még nem alakult ki a maximum és a süllyedő szakasz, ami csak sokkal magasabb frekvenciáknál jelentkezne. Ez csak azzal magyarázható, hogy a lemez fajlagos ellenállása lényegesen nagyobb, mint a várt. A mért görbék a numerikus modellezés szerint csak  $\rho_{\text{telep}} > 1000$  ohm alakulhatnak ki (6. ábra). Nyilvánvaló, hogy a lemez belsejét az oldat nem itatta át. Emiatt a modell nem felel meg a hazai széntelepes összetétel fajlagos ellenállás viszonyainak. A várt hatásokat tehát markánsabban jelzi majd, mint ami a természetben várható.

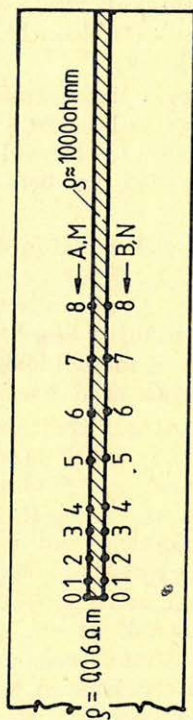
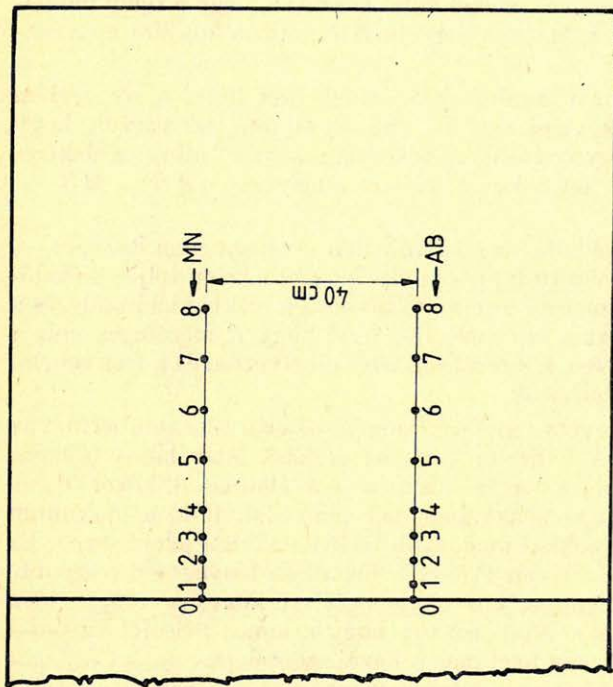
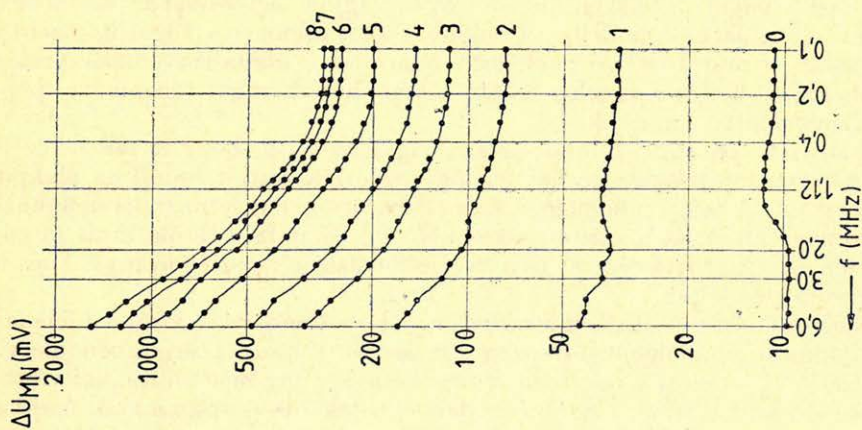
A modell a vágat közelében húzódó vető, vagy a mélyfúrás pár közelében húzódó vető kutatásának modellje. Az előbbi esetet tekintve a vágatot közelítő vető hatásának bemutatására a modellezés adatait a 7. ábrán izovonalas formában is felhordtuk. Folytonos telep esetén a képzeletbeli vágat tengelyével párhuzamos izovonalakat kapnánk.

A gyakorlati kutatás szempontjából megállapítható, hogy a telep közeli vetői a frekvenciaszondázási görbéknek úgy az értékszintjét, mind az alakját megváltoztatják. A telep inhomogenitásának hatása a nagyobb frekvenciáknál lényegesen nagyobb mint a kisebb frekvenciáknál. Emiatt a vetőkutatás jó paramétere lehet a nagy frekvenciás és a kis frekvenciás térerősség aránya, amit a 7. ábra szintén szemléltet.

A másik modellt a 8. ábrán mutatjuk be. A hozzárendelhető kutatási feladat a telep folyamatosságának ellenőrzése az adó és a vevő közötti térrészben, illetve az előrehaladó vágat előtt a telep megszakadásának, vagy más tektonikai változásnak az előrejelzése lehet. Ennél a modellen a telep csak megszakad, majd a rés után egy másik teleprész következik. Különbösg az is, hogy  $R$  iránya most megegyezik a profil irányával.

Bár a falemez közepén a mérés most más elrendezésben és más helyen történt, a 8. ábra II. és az 5. ábra 8. állomásának görbéi – a vizsgáldás kvalitatív jellegét tekintve – megfelelő egyezést mutatnak.

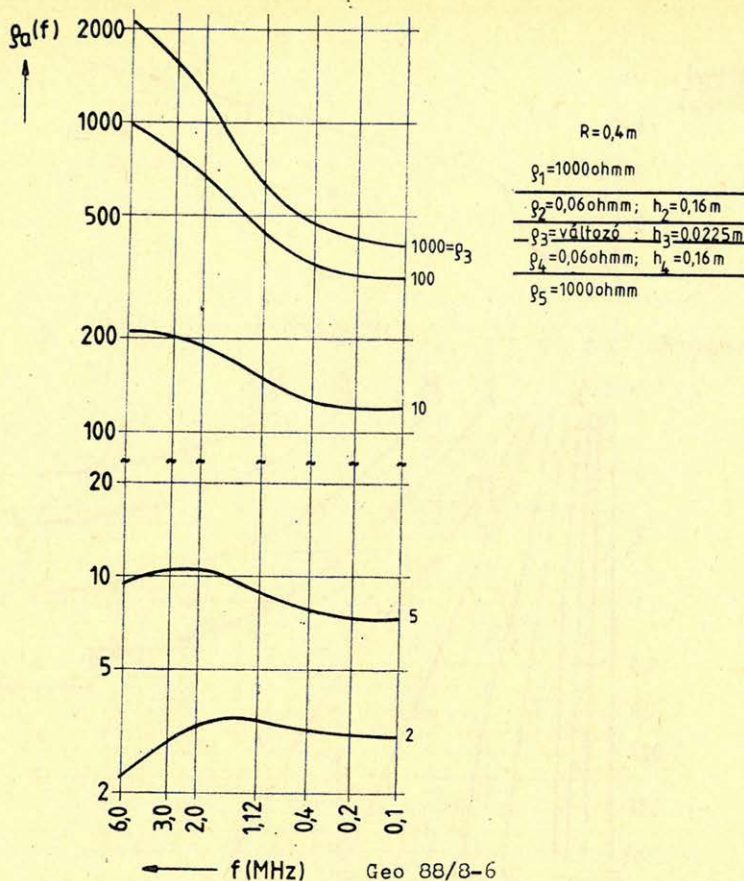




Грц 38/02

5. ábra. A kiékelő széntelepek fizikai modelljének felépítése, a mérési pontok elhelyezése és a mért  $|\Delta U_{MN}|(f)$  frekvenciaszondázási görbék  
 Рис. 5. Создание физической модели выклинивающегося угольного пласта, расположение точек измерений и полученные кривые частотного зондирования  $|\Delta U_{MN}|(f)$   
 Fig. 5. The built-up of the physical model of a pinching out coal-stratum, the location of the measuring points and the measured  $|\Delta U_{MN}|(f)$  curves are shown



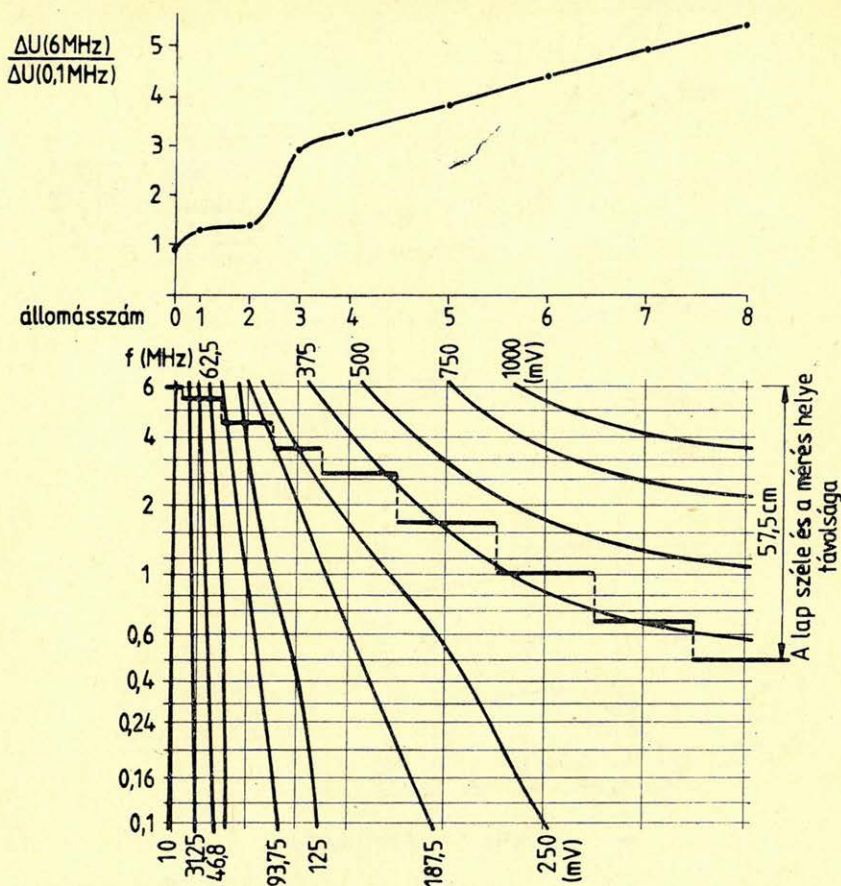


6. ábra. A 4. ábra fizikai modellje 8. állomásának megfelelő — horizontálisan végtelennek vett — metszetre számított  $q_a(f)$  frekvenciaszondázási görbék a  $q_3 = \text{változó}$  esetre

Рис. 6. Кривые частотного зондирования  $q_a(f)$  при условии  $q_3 = \text{переменная}$ , для Физической модели условий, показанных на рис. 4. при расположении станции 8, вычисленные для соответствующего разреза, горизонтальная протяженность которого условно принята бесконечной

Fig. 6.  $q_a(f)$  curves calculated for a horizontally infinite section related to the 8th station of the physical model of the Fig. 4. for various  $q_3$  parameters are shown

A telep megszakadása ebben az esetben is a hozzá közeli állomásokon a térerősség csökkenését és a görbék alakjának megváltozását okozta. Figyelemre méltó a frekvenciaszondázási görbék lefutásának jelentős változása abban az esetben, amikor az adó és a vevő közrefogja az inhomogenitást, azaz a rést (0–4. állomás). Pilenkor a görbék alakja érzékeny függvénye annak, hogy a rés a mérő és tápelektrodákhoz képest, hol helyezkedik el. A görbék közül világosan kitűnik, hogy az adó és a vevő közötti inhomogenitás jobban csökkenti a térerősség értékét, ha valamelyik elektródapár — adó vagy vevő — közelében van. Megjegyzendő, hogy a mérést a bal oldali lemezre átmenve is folytattuk és a résre vonatkozóan szimmetriát tapasztaltunk. Így a feltüntetett görbék a bal és jobb oldali mérés átlagából származnak.



Geo 88/8-7

7. ábra. A 4. ábra fizikai modelljében mért  $|\Delta U_{MN}|(f)$  értékek alakulásának izovonalas ábrázolása

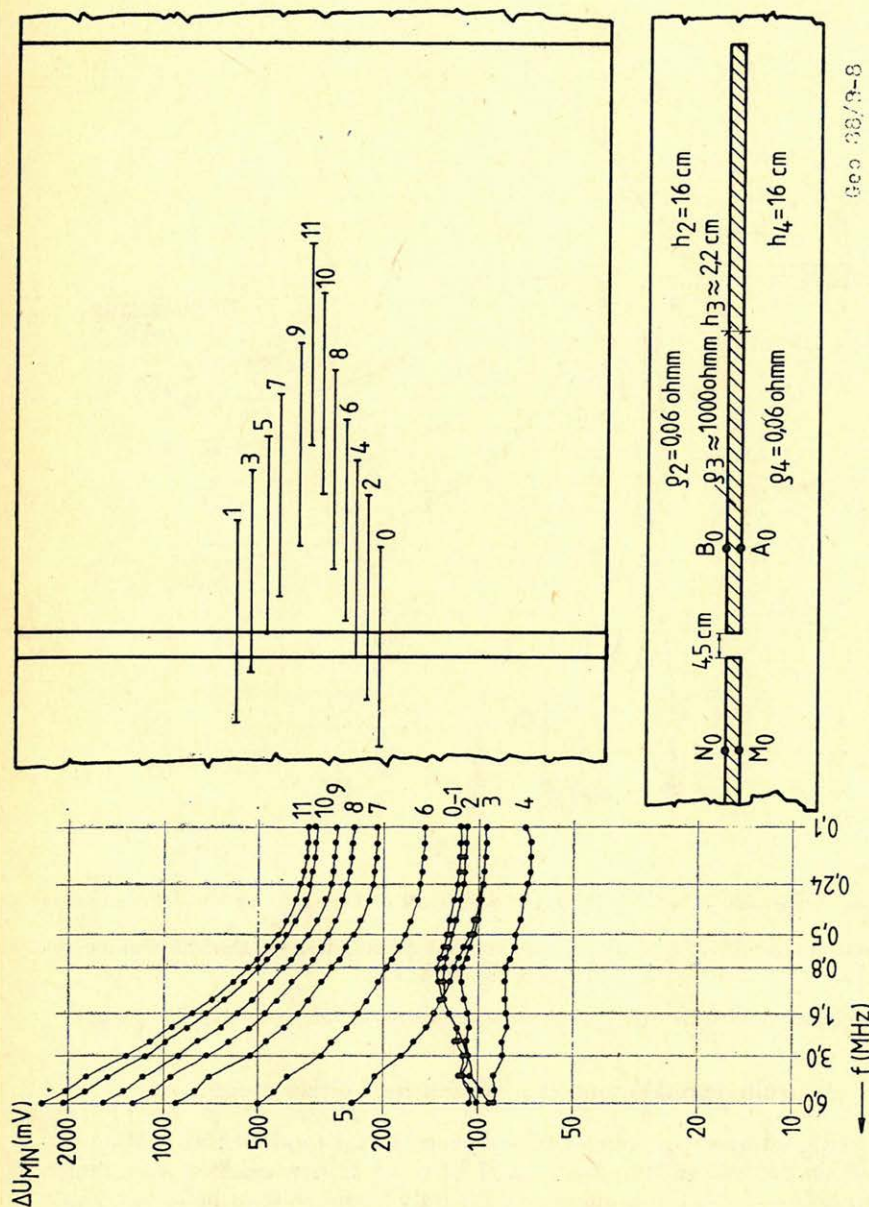
Рис. 7. Изолинии значений  $|\Delta U_{MN}|(f)$ , полученных для физической модели условий, показанных на рис 4.

Fig. 7. Iso-line type visualization of the  $|\Delta U_{MN}|(f)$  values measured in the physical model of Fig 4. can be seen

A 9. ábrán a rés hatására előálló térerősség-változást izovonalas ábrázolással is megadtuk. Jól kirajzolódik a 3. és 4. állomásnál az a minimum sáv, amikor az egyik elektródapár átlép a résen. Az adó és a vevő közötti telep-megszakadásnak karakterisztikus jellemzője a  $\Delta U(6\text{ MHz})/\Delta U(0,1\text{ MHz})$  arány drasztikus csökkenése az ilyen állomásokon (0–4. állomás).

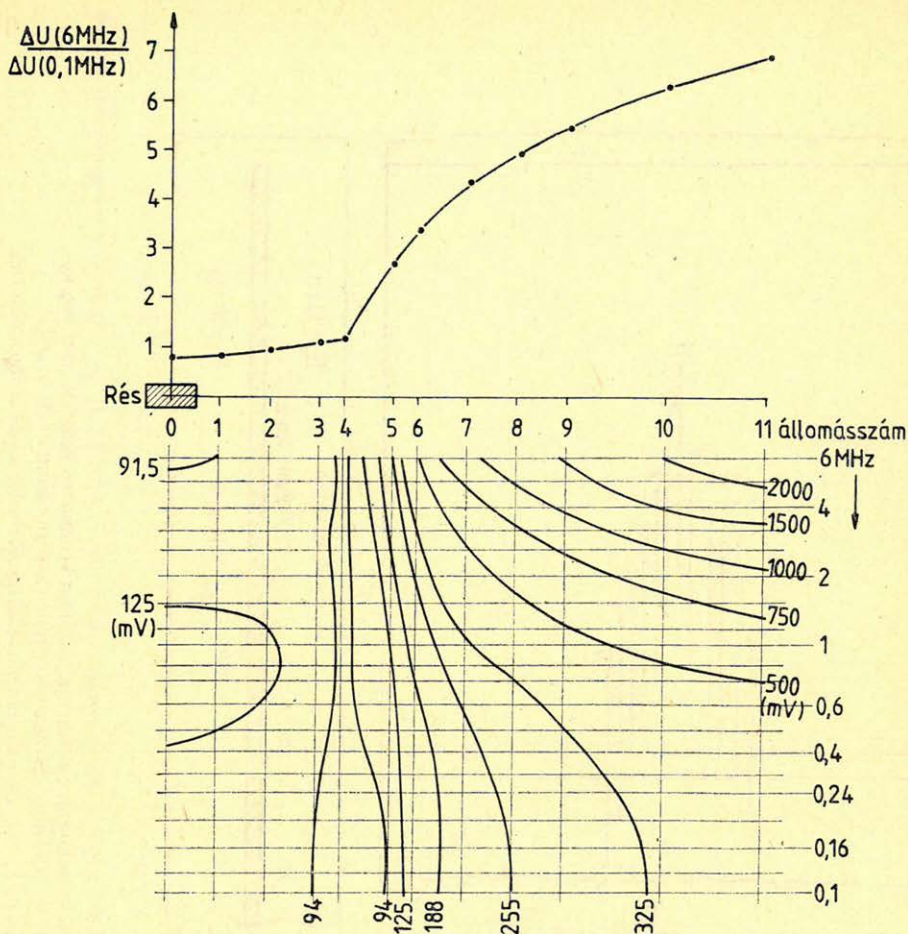
A modellezés eredményét, a modelltvény alapján vihetjük át a tényleges földtani viszonyoknak megfelelő fajlagos ellenállás értékekre és geometriai méretekre. Amennyiben a modellezés 0,1–6 MHz frekvenciasávjának a valóságos viszonyok között az 1000–60 000 Hz sávot feleltetjük meg a fizikai modell geometriai méreteinél 100, és a fajlagos ellenállásokat illetően is 100 szorzófaktorot kell alkalmazni.





Geo 38/3-8

8. ábra. A szénteleper megszakadása fizikai modelljének felépítése, a mérési pontok elhelyezése és a mért  $|\Delta U_{MN}|(f)$  frekvenciaszondázási görbék  
 Рис. 8. Создание физической модели для случая прерывания угольного пласта, расположение точек измерений и полученные кривые частотного зондирования  $|\Delta U_{MN}|(f)$   
 Fig. 8. The built-up of the physical model of a discontinuous coal layer, the locations of the measuring points and the measured  $|\Delta U_{MN}|(f)$  curves are show



Geo 38/8-9

9. ábra. A 8. ábra fizikaimodelljében mért  $|\Delta U_{MN}|(f)$  értékek alakulásának izovonalas ábrázolása

Рис. 9. Изолинии значений  $|\Delta U_{MN}|(f)$ , полученных для физической модели условий в соответствии с рис. 8.

Fig. 9. Iso-line visualization of the  $|\Delta U_{MN}|(f)$  values measured in the physical model of Fig. 8.

#### 4. Az elektrolit-fémháló modellen végzett modellezés eredményei

Egy az eddig említetthez képest más típusú fizikai modellen az NME Geo-fizikai Tanszékén azt vizsgáltuk, hogy az elektródák környezetében a homogén tér különböző helyén fellépő inhomogenitások milyen mértékben befolyásolják a frekvenciaszondázás eredményét.

Láttuk, hogy a frekvenciaszondázási görbe valamennyi jellemző szakaszának felvételéhez még tömény sós oldatban is meglehetősen magas frekvenciákat kell használni, ami speciális műszerezettséget igényel. A frekvenciatartományt úgy





## Összefoglalás

A bemutatott fizikai modellezés a modellt felépítő anyagok, a méretbeli és frekvenciális korlátok miatt a földtani valóságnak meglehetősen durva közelítése lehetett csak. Mégis hasznos információkat adott a tér alakulásának jellegéről és alkalmas a célul kitűzött kutatási munkahipotézis ellenőrzésére.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a modellezés alapján érdemes a bemutatott frekvenciaszondázási rendszer inverziót is megcélzó fejlesztésével foglalkozni, mert újabb lehetőséget jelent a mérőállomás közelében levő inhomogenitások felderítésére, vagy a környezet fizikai folyamatainak térfogat szerint szétválasztott követésére.

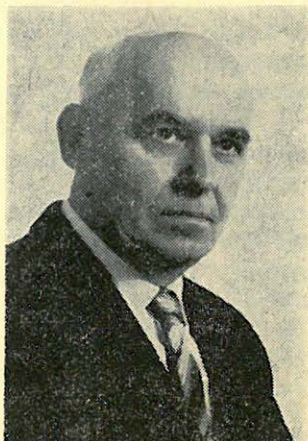
## IRODALOM

- [1] *Takács E. et al. (1987)* Komplex szeizmikus-geoelektromos bányageofizikai módszerek fejlesztése. NME. Kutatási jelentés.
- [2] *Takács E., Nagy J., Márai F. (1986)* Field of a vertical, alternating current, electric elementary dipole in a layered medium. *Geophysical Transactions*, Vol. 32. No. 1. pp. 43 – 56.
- [3] *Takács E.* A rétegződés hatása a föld alatti vertikális áramdipólus ekvatoriális elektromos frekvenciaszondázási görbéjére. *Geophysical Transactions* (Megjelenőben)
- [4] *Pethő G. (1987)* Aspects of finite difference modelling of the electromagnetic field of an oscillating electric dipole. *Geophysical Transactions*, Vol. 33. No. 2. pp. 113 – 122.
- [5] *Ádám A. et al. (1981)* Analogue model for studying geoelectric methods in the Geophysical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. *Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hung.* Vol. 16. (2 – 4) pp. 359 – 380.
- [6] *Csókás J. et al. (1986)* Geoelectric determination of quality changes and tectonic disturbances in coal deposits. *Geophysical Prospecting*, Vol. 34. pp. 1067 – 1084.



## EGYESÜLETI HÍREK

## Dr. Csókás János egyetemi tanár 70 éves



*Csókás János* egyetemi tanár, — a Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszékének 1956-tól 1983-ig tanszékvezetője — 1988. december 15-én töltötte be 70. életévét. Geofizikus nemzedékek elhivatott oktatóját, a geofizika több területét továbbfejlesztő, kiemelkedő tudóst ebből az alkalomból tiszteletteljes szeretettel köszönti a magyar geofizikusok közössége.

*Csókás János* professzor a Pázmány Péter Tudományegyetem természettan — mennyiségtan szakos tanári oklevelével a Magyar Amerikai Olajipari Rt.-nél 1941-ben kezdte geofizikusi pályáját. Eötvös-inga és graviméteres mérésekkel, feldolgozásukkal és értelmezésükkel foglalkozott. 1950-ben Tárczy-Hornoch Antal és Kántás Károly professzorok meghívták a speciális geofizikai képzés várható beindítása miatt Sopronba a Műszaki Egyetem Erdő- és Földmérőmérnöki Kara Fizika Tanszékére. A Geofizikai Tanszéknek — ami az önállósult Földmérőmérnöki Karhoz tartozott — megalakulásától — 1951-től — alapító oktatója. Meghatározó szerepe volt a geofizikusmérnökök képzésének megszervezésében, a tananyag összeállításában és annak a tanszéki légkörnek, munkaszellemnek kialakításában, ami a mai napig tovább él. Munkájának elismerése, hogy már 1953-ban docens lett.

Kántás professzor távozása után 1956-ban vette át a Geofizikai Tanszék vezetését. 1959-ben a Bányamérnöki Karral együtt a Geofizikai Tanszék is áttelepült Miskolcra a Nehézipari Műszaki Egyetem székhelyére. Csókás János professzor itt kapta meg 1959-ben egyetemi tanári kinevezését.

Közben 1956-tól 1959-ig a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet igazgatóhelyettese volt. Egyetemi docensi feladatait azonban félállásban ekkor is ellátta.

*Csókás János* professzor széles látóköre biztosította, hogy Miskolcon több oktatási reform lehetőségét jól kihasználva a mindenkor követelmények körütekintő figyelembevételével alakult a geofizikai képzés menete. Elérte azt is, hogy a geológusmérnökök és bányamérnökök képzésében megfelelő súlyt kapott a geofizika.



Törvényszerű volt, hogy a kiváló adottságú professzor munkájára szükség lett az egyetemi szintű vezetésben is. 1972-től 1978-ig két cikluson keresztül rektorhelyettesi tisztséget töltött be.

A tanszékvezetői megbízások érvényben levő rendszere szerint a Geofizikai Tanszéket 65 éves koráig – 1983-ig – vezette. Oktatási, egyetemi tanári feladatait azonban azóta is a tőle megszokott elkötelezettséggel és alapos-sággal látja el. Gazdag élettapasztalatával, tekintélyével továbbra is segíti a Geofizikai Tanszéket minden feladata ellátásában.

*Csókás János* professzor oktatói és tanszékvezetői munkáját pályája minden szakaszában az igényesség, a korszerűség és a hallgatókkal a jó emberi kapcsolatokra épülő, aktív együttműködés kialakításának szándéka vezette. Ezt várta el tanszéke minden oktatójától is. A korszerű tananyag kialakítására a szakirodalmat sokkal szélesebb témakörben dolgozta fel, mint ahogyan azt kutatómunkája igényelte. Az elmélyült búvárkodásából és saját kutató munkájából származó ismeretanyagot hallgatói, kollégái részére egyetemi jegyzetek formájában rendszeresen közkinccsé tette. Első jegyzete 1955-ben jelent meg, a tizenegyedik pedig most van megjelenőben. Tanszékvezetőként évről évre alakította és alakíttatta nemcsak a tananyagot, hanem a hallgatókkal való foglalkozás módját, menetét is. Az a törekvés vezette, hogy hallgatói az egyetemi évek alatt a biztos elméleti alapok elsajátítása mellett az önálló gyakorlati munka eredményeinek élményét is megszerezzék. Híve volt annak és el is érte, hogy a geofizikai ágazat hallgatói sok szakmai és emberi szállal kötődjenek a tanszékhez.

Előadásai élményt jelentőek. Magas szakmai színvonaluk mellett jó humorral is fűszerezettek. Ugyanakkor bővelkednek olyan tartalmas eszmefuttatásokban, amelyek túlmutatnak a szakmai témán és felvillantják sokoldalú érdeklődési körét és humánumát.

Csókás professzor mindig lényegesnek tartotta, hogy a geofizikai munkahelyek szellemi és műszerezettségi potenciálja, a geofizikai mérések eredményei megfelelő helyet kapjanak az oktatásban. Ennek érdekében jól működő oktatási kapcsolatokat épített ki elsősorban a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézettel, az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt Geofizikai Kutató Vállalatával és többi vállalatával is. Fontosnak ítélte és kiépítette a tanszék nemzetközi kapcsolatait, amelyek közül ki kell emelni a freibergeri Bányászati Akadémia, a moszkvai Bányászati Egyetem és bochumi Ruhr Egyetem geofizikai intézeteit.

*Csókás János* professzor tudományos munkássága meglepő sokoldalúságot mutat. Ez nyilvánvalóan összefügg széles körű oktatási témakörével, a tanszék felé megnyilvánuló sokirányú igényvel, de azzal is, hogy mindig vonzották a megoldandó aktuális feladatok. Lelkesedése magával ragadta tanszéki kollégáit is egy-egy általa fontosnak ítélt kérdés kidolgozásában.

Egyetemi oktatóként legelőször fúrómagok radiológiai vizsgálatával foglalkozott. Később bauxittelepek gravitációs, mágneses és geoelektromos kutatásait vezette a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával. Ezért többször részesült akadémiai elismerésben. Részt vett a tellurikus és magnetotellurikus módszer hazai bevezetésében. Kidolgozta a fúróiszapban oldott gázok detektálására szolgáló műszer alapelvét, aminek alapján a műszer elkészült. Ebben a témában írta 1959-ben kandidátusi értekezését.

Termikus műszert konstruált a bányatüzekkel és a karsztvízzel kapcsolatos bányabeli geofizikai mérésekhez és sikerrel alkalmazott módszert adott át a szén- és bauxitbányászatnak. Az irányított áramterű geoelektromosszondázásról írt cikke külföldön is visszhangot keltett, a módszer társszerzőkkel szabadalmat nyert.



## Könyvismertetés

Második kiadásban jelentette meg a Springer-Verlag:

**F. J. Pettijohn, P. E. Potter és R. Siever:**

**Sand and Sandstone**

című monográfiáját, amely 553 oldalon, 355 ábrával és 80 táblázattal nagy részletességgel tárgyalja a címbeli témát.

Az elsősorban szedimentológiai, petrológiai és petrográfiai szempontok szerint összeállított mű a geofizikus számára is alapvető fontosságú ismereteket tartalmaz.

ISBN 3—540—96355—3      Ára: 168 DEM

További Springer könyvek:

**H. R. Gordon, A. Y. Morel:**

**Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite**

**Visible Imagery**      114 oldal

**Th. Stocker, K. Hutter:**

**Topographic Waves in Channels and Lakes on the f-Plane**      176 oldal

Szerzői kollektíva:

**Seawater-Sediment Interactions in Coastal Waters**      338 oldal

Mindhárom könyv a *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies* sorozatba tartozik.

*D. J.*

### MAGYAR GEOFIZIKA

A szerkesztésért felelős: ZELEI ANDRÁS

A szerkesztőség címe: 1061 Budapest, Anker köz 1. Telefon: 429-754

Kiadja: Delta Szaklapkiadó és Műszaki Szolgáltató Leányvállalat 1093 Budapest

Központ u. 4. Telefon: 175-200

Felelős kiadó BUDAI FERENC főigazgató

Terjesztése egyesületi, illetve a Magyar Posta útján.

Előfizethető bármely hírlapkézbesítő postahivatalnál a hírlapkézbesítőknél a Posta hírlaptüzleteiben és a Hírlapelőfizetési és Lapellátási irodánál (HELIR) Budapest XIII., Lehel u. 10/A — 1900 — közvetlenül vagy átutalással a HELIR 215—96162 pénzforgalmi jelzőszámra.

Egy szám ára 32,50 Ft. Előfizetés fél évre 97,50 Ft, egy évre 195 Ft.

Külföldön terjeszti a Kultúra Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat 1389 Budapest Pf. 149 és a Magyar Média 1392 Budapest, Pf. 279. 86—253

88.1545., Állami Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Mihalek Sándor igazgató

Egyesületi tagoknak tagdíj ellenében

Megjelenik évente hatszor

**Index: 26507**